



## 저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

농학석사 학위논문

환경조건이 온대 수종의 수종별  
직경생장량에 미치는 영향

The effects of environmental  
factors on species-specific radial  
growth in temperate forest

2019 년 7 월

서울대학교 대학원

산림과학부 산림환경학 전공

이 민 수

# 환경조건이 온대 수종의 수종별 직경생장량에 미치는 영향

지도교수 김 현 석

이 논문을 농학석사 학위논문으로 제출함  
2019 년 7 월

서울대학교 대학원  
산림과학부 산림환경학 전공

이 민 수

이민수의 농학석사 학위논문을 인준함

2019 년 7월

위 원 장	_____ (인)
부위원장	_____ (인)
위 원	_____ (인)

## 초 록

산림생태계는 인간에게 많은 이점을 준다. 하지만 최근 들어 급격한 기후변화가 보고 되면서, 기후에 많은 영향을 받는 산림생태계 역시 급격하게 변화하고 있다. 따라서, 우리는 산림생태계의 변화를 예측할 필요가 있으며, 그 변화를 예측하기 위해서는 수종별 생장 특성을 이해하는 것이 필요하다. 본 연구는 태화산과 국립수목원에서 2013년부터 2018년까지 6년간 침엽수 2종(*Pinus koraiensis*, *Abies holophylla*), 활엽수 5종(*Quercus aliena*, *Q. variabilis*, *Q. serrata*, *Carpinus laxiflora*, *C. cordata*)을 대상으로 직경생장량을 측정하였으며, 수종별 직경생장량과 환경인자와의 상관관계를 분석하였다. 연구 결과, 잣나무와 전나무, 서어나무는 전반적으로 증가하는 경향을 보였으며, 갈참나무, 굴참나무, 줄참나무, 까치박달은 감소하는 경향을 보였다. 이는 동일한 환경 내의 임분이라 하더라도 수종에 따라 직경생장량의 변화에 있어 차이를 나타낸다고 할 수 있다. 수종별 직경생장량과 환경인자 간의 상관분석 결과, 잣나무의 직경생장량은 전년도 여름의 평균기온( $p < 0.01$ ,  $R^2 = 0.87$ )과 전년도 강수량과 음의 상관관계( $p < 0.05$ ,  $R^2 > 0.66$ )를 가졌다. 굴참나무( $p = 0.01$ ,  $R^2 = 0.84$ )와 줄참나무( $p = 0.03$ ,  $R^2 = 0.73$ )는 생장이 일어난 전년도 가을의 강수량과 양의 상관관계를 가졌다. 전나무( $p < 0.01$ ,  $R^2 = 0.96$ )와 서어나무( $p = 0.01$ ,  $R^2 = 0.81$ )는 생장이 일어난 당해의 봄과 여름의 강수량과 양의 상관관계를 가진다. 까치박달은 전년도 여름부터 가을까지의 강수량과 양의 상관관계를 가지며( $p < 0.04$ ,  $R^2 > 0.69$ ), 전년도 늦여름부터 초가을까지의 VPD와 음의 상관관계를 가진다( $p = 0.03$ ,  $R^2 = 0.73$ ). 본 연구에서는 우리나라 온대림에 분포하는 온대수종의 직경생장량은 환경인자로부터 받는 영향의 크기와 시기에 차이를 보였다.

이러한 차이를 통해 산림생태계의 변화를 예측할 수 있다.

**키워드:** 온대림, 기후변화, 환경조건, 직경생장, 기후-생장 관계

**학 번:** 2017-29845

# 목 차

초 록 .....	i
표 목차 .....	v
그림 목차 .....	v
I. 서론 .....	1
II. 재료 및 방법 .....	5
1. 연구대상지 및 조사대상 수종 .....	5
2. 직경생장량과 순일차생산량 .....	7
3. 환경변수 .....	7
4. 연간 직경생장량과 환경변수의 상관관계 .....	9
III. 결과 .....	11
1. 수종별 연간 흉고직경 생장량, 상대생장률과 순일차생산량 .....	11
2. 수종별 흉고직경과 직경생장량의 상관관계 .....	16
3. 수종별 연간 직경생장량과 주요 환경인자와의 상관관계 .....	16
IV. 고찰 .....	47

V. 결론 .....	53
참고문헌 .....	55
Abstract .....	63

## 표 목 차

[표 1] 조사대상 수종 및 각 수종별 평균 흉고직경(DBH)과 개수 .....	6
[표 2] 태화산 대상지의 수종별 연간 직경생장량, RGR, NPP .....	13
[표 3] 국립수목원 대상지의 수종별 연간 직경생장량, RGR, NPP · .....	14

## 그 림 목 차

[그림 1] 연간 직경생장량과 환경변수의 상관계수표 .....	10
[그림 2] 수종별 연간 직경생장량(a) 및 연간 상대생장률(b) .....	14
[그림 3] 잣나무의 연간 생장량과 평균기온의 상관계수 분포도 ·	19
[그림 4] 잣나무의 연간 생장량과 PAR의 상관계수 분포도 · .....	20
[그림 5] 잣나무의 연간 생장량과 강수량의 상관계수 분포도 ·	21
[그림 6] 잣나무의 연간 생장량과 VPD의 상관계수 분포도 .....	22
[그림 7] 갈참나무의 연간 생장량과 평균기온의 상관계수 분포도 .....	23
[그림 8] 갈참나무의 연간 생장량과 PAR의 상관계수 분포도 ·	24
[그림 9] 갈참나무의 연간 생장량과 강수량의 상관계수 분포도 · .....	25
[그림 10] 갈참나무의 연간 생장량과 VPD의 상관계수 분포도 ·	26



[그림 11] 굴참나무의 연간 생장량과 평균기온의 상관계수 분포도 .....	27
[그림 12] 굴참나무의 연간 생장량과 PAR의 상관계수 분포도 .....	28
[그림 13] 굴참나무의 연간 생장량과 강수량의 상관계수 분포도 .....	29
[그림 14] 굴참나무의 연간 생장량과 VPD의 상관계수 분포도 ...	30
[그림 15] 전나무의 연간 생장량과 평균기온의 상관계수 분포도	31
[그림 16] 전나무의 연간 생장량과 PAR의 상관계수 분포도 .....	32
[그림 17] 전나무의 연간 생장량과 강수량의 상관계수 분포도 ...	33
[그림 18] 전나무의 연간 생장량과 VPD의 상관계수 분포도 .....	34
[그림 19] 졸참나무의 연간 생장량과 평균기온의 상관계수 분포도 .....	35
[그림 20] 졸참나무의 연간 생장량과 PAR의 상관계수 분포도 ..	36
[그림 21] 졸참나무의 연간 생장량과 강수량의 상관계수 분포도 .....	37
[그림 22] 졸참나무의 연간 생장량과 VPD의 상관계수 분포도 ..	38
[그림 23] 서어나무의 연간 생장량과 평균기온의 상관계수 분포도 .....	39
[그림 24] 서어나무의 연간 생장량과 PAR의 상관계수 분포도 ..	40
[그림 25] 서어나무의 연간 생장량과 강수량의 상관계수 분포도 .....	41

[그림 26] 서어나무의 연간 생장량과 VPD의 상관계수 분포도	· 42
[그림 27] 까치박달의 연간 생장량과 평균기온의 상관계수 분포도 .....	43
[그림 28] 까치박달의 연간 생장량과 PAR의 상관계수 분포도	· 44
[그림 29] 까치박달의 연간 생장량과 강수량의 상관계수 분포도 .....	45
[그림 30] 까치박달의 연간 생장량과 VPD의 상관계수 분포도	· 46

## I. 서 론

인간은 산림으로부터 많은 이익을 얻는다. 목재를 비롯한 여러 임산물을 얻을 수 있으며, 휴양공간과 놀이 공간을 확보할 수 있다. 하지만 20세기에 들어 급격한 기후변화가 나타나고 있다. 물론 산림은 생물학적 및 비생물학적 요소 등 여러 요소들 상호작용을 통해 영향을 받으며 살아간지만, (Friedrichs et al. 2009b; Kozłowski and Pallardy 1997; Schweingruber 1996). 특히, 기후인자는 산림의 미기상, 임분의 환경 뿐 아니라 수목의 생장 특성과 생리적 요소에도 영향을 주며(Fritts 2012), 산림의 분포나 종 구조 변화를 일으킨다. 따라서, 기후변화로 인해 기후로부터 많은 영향을 받는 산림생태계 역시 급변하고 있다. 따라서 우리는 산림생태계의 변화를 예측할 필요가 있으며, 그 변화를 예측하기 위해서는 산림의 구성요소인 수목의 수종별 생장 특성을 이해하는 것이 필요하다.

시간적 및 공간적 규모에 있어 기상과 수목의 생장 관계에 대한 이해를 더 할수록 기후 변화에 대한 미래의 산림 반응을 정확하게 예측하고, 모델링하는 데 도움이 될 수 있다(Griesbauer and Green 2012; Millar et al. 2007; Wang et al. 2017). 따라서, 기후변화 등 환경변화에 따른 산림생태계의 구조 및 기능적 변화를 알기 위해서는 산림의 주요 구성요소인 수목의 생장과 기후인자 간의 연관성에 대한 이해가 필요하며(Speer 2010), 산림생태계의 변화양상 예측을 위해서는 기후에 대한 수종별 및 지역별 반응에 대한 정확한 이해가 필요하다.

수목의 생장은 수종, 입지, 환경 및 유전적 요인에 따라 각각 다르게 나타난다. 또, 수목의 생장에 관여하는 주요인자는 기상학적 인자, 생물학적 인자, 토양적 인자 등으로 크게 나누어지며, 이들의 복합적인 영향

을 통하여 수목이 형성된다(이상태 2003). 산림에서는 기후, 토양, 지형 등의 환경요소들이 생장에 크게 관여한다(Kramer 2012). 이처럼 각각의 수목들은 여러 인자의 복합적이고 유기적인 관계로 인해 성장량에 차이를 보인다(이상태 2003).

수목의 흉고직경생장 혹은 직경생장은 가슴 높이에서 측정한 나무의 직경을 말하며 임목(立木)의 재적계산과 임분의 직경분포를 파악하기 위해 측정된다. 연륜(tree ring)이란 형성층 세포의 분열로 인해 만들어진 세포벽이다(이경준 1993). 이러한 연륜을 만드는 세포가 활발히 분열하기 위해서는 적절한 온도와 수분이 필요하다. 기온은 광합성을 포함한 다양한 임목의 생리적 작용에 영향을 미치는 중요한 기후요소이며, 강수량 등 수분 조건은 직경생장을 일으키는 형성층의 활동에 영향을 크게 미친다(Larsen 1963). 따라서 연륜생장을 함에 있어 영향을 주는 기후인자 중에서도 온도와 강수량은 연륜생장에 많은 영향을 주며(Zobel and Van Buijtenen 2012; 이상태 2003), 결과적으로 직경생장은 기후인자의 변화에 매우 민감하게 반응한다(Wang et al. 2013). 또한, 연륜은 수목이 성장하는 생장 시기의 기후 등 환경인자의 정보를 가지고 있다(Choi et al. 1992).

국외에서는 직경생장과 환경인자의 상관관계를 구명하기 위해 다양한 연구가 수행되고 있다. 직경생장에 가장 큰 영향을 주는 것으로 알려진 기온과 강수량(Fritts 2012; 박원규 1993)과 연륜생장의 상관관계에 관해 연구가 수행되었으며, 월별 환경인자 값을 이용하여 상관관계를 분석하였다.

수목의 직경생장량에 영향을 미치는 환경인자는 수종에 따라 차이를 보인다(Garcia-Cervigon et al. 2012; Lyu et al. 2017). Lyu의 연구에 따르면, 잣나무와 신갈나무를 비교해보면, 잣나무의 경우, 연간 직경생장

량이 기온과 전반적으로 양의 상관관계를 가지지만, 신갈나무의 경우, 연간 직경생장량이 기온과 음의 상관관계를 가진다(Lyu et al. 2017). 또, Morales의 연구에서는 *Pinus sylvestris*와 *Juniperus sabin*를 비교하였을 때, *Juniperus sabin*의 생장량이 *Pinus sylvestris*보다 생장이 일어난 당해의 봄철 강수량에 더 강하게 영향을 받았다(Garcia-Cervigon et al. 2012).

또, 같은 수종이라 하더라도 분포하고 있는 지역에 따라 환경인자에 따른 개체군의 반응에 차이를 보인다(Wang et al. 2017; Yu et al. 2013). 이탈리아 북부에 분포하고 있는 *Abies alba*는 생장이 일어나기 전년도 여름의 강수량이 많을수록 생장량이 좋았으나(Carrer et al. 2010), 프랑스 남동부에 분포하고 있는 *Abies alba*는 반대로 전년도 여름의 강수량이 적을수록 연간생장량이 증가하는 경향을 보였다(Latreille et al. 2017). 또 다른 선행연구에 따르면, 잣나무의 경우 역시 지역에 따라 기온이 생장량이 미치는 영향에 차이를 보였다(Lyu et al. 2017; Wang et al. 2017; Yu et al. 2013). 이처럼 수종별로 직경생장에 영향을 미치는 환경인자가 차이를 보이며, 같은 수종이라 하더라도 지역이 다르면, 영향을 미치는 환경인자 혹은 영향을 미치는 시기에 차이를 보인다.

국내에서는 목편을 이용하여 소나무 등의 연간 직경생장량과 기후인자의 회귀분석을 통한 추정식 개발 연구가 진행되었다(임종환 et al. 2017). 하지만 이러한 연구에서는 연간 생장량과 생장이 일어난 해의 환경인자와의 비교에만 초점을 두고 있다. 하지만, 소나무, 잣나무 등의 수종은 고정생장을 하는 수종으로 지난해의 환경인자가 올해의 생장에 영향을 미치기 때문에(Lyu et al. 2017; Wang et al. 2017), 생장이 일어난 전년도의 기후인자와의 분석이 필요하다. 또한, 현재 국내에서 연 직경생장과 기후인자와의 비교연구는 일부 수종에 대해서만 진행되어 있다(문

나현 et al. 2015; 임종환 et al. 2017; 임종환 et al. 2016). 하지만 한반도는 유라시아 대륙의 동쪽에 남북으로 길게 늘어서 있어서 비교적 다양한 기후대를 형성하고 있으며, 지형적으로도 높은 다양성을 가지고 있어 국토 면적과 비교하면 생물 다양성이 높은 것으로 알려져 있다. 또한, 최근 다양한 교란으로 인해 생물 종의 서식지가 파괴되거나 생육환경이 급격히 훼손되고 있다(권혁수, et al. 2012). 특히, 식물은 기후의 변화에 직접적인 영향을 받는다. 그 때문에 국외에서는 수목을 포함한 식물에 대한 기후 및 환경변수의 영향에 관한 연구들이 활발히 진행되고 있다(Hannah and Lovejoy 2005). 따라서 국내에서도 우리나라에 자생하는 수종 중 좀 더 다양한 수종에 관한 연구가 필요하다.

본 연구는 서울대학교 태화산 학술클럽과 광릉국립수목원에서 실시되었다. 광릉수목원은 조선시대 왕릉이 자리 잡고 있어 오랫동안 비교적 인위적인 교란을 적게 받았으며(권보람 et al. 2016), 또한, 우리나라 온대림에 분포하는 수종에 대해 연간 직경생장량에 미치는 환경인자에 관해 알아보기 위해 7종 89본의 연간 직경생장량과 임목생장에 가장 많은 영향을 미치는 것으로 알려진 기온 및 강수량(Sander 1971; Woodward 1991)을 비롯한 네 가지 환경인자와의 상관분석을 실시하였다. 본 연구에서 우리나라 온대 수종의 수종별 직경생장량의 연간 변화에 차이를 분석하고, 생장이 발생한 당해와 지난해 동안에 수종별 직경생장량에 영향을 미치는 환경적 제한요인과 그 시기의 차이를 알아보고자 한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 연구대상지 및 조사대상 수종

본 연구는 경기도 광주시에 위치한 서울대학교 태화산 학슬림과 경기도 포천시에 위치한 광릉국립수목원에서 진행되었다. 태화산의 경우, 잣나무림(37.30482 N, 127.317489 E; 178 m a.s.l.)과 활엽수림(37.304047 N, 127.314244 E; 234 m a.s.l.)을 연구대상지로 선정하였다. 잣나무림은 1963년에 식재되었으며, 5영급 잣나무 조림지로 임분밀도는 410 본 ha<sup>-1</sup>이다. 잣나무 18본을 연구대상목으로 선발하였으며, 선발 당시, 잣나무의 평균 흉고직경은  $29.27 \pm 1.30$  cm이다. 2차 천연림인 활엽수림은 갈참나무와 굴참나무가 우점하고 있다. 임관의 상층부는 갈참나무, 굴참나무로 이루어져 있으며, 하층에는 노린재, 철쭉 등이 서식하고 있다. 활엽수림에서는 우점종인 갈참나무 31본, 굴참나무 7본을 조사대상으로 선발하였으며, 갈참나무의 평균 흉고직경은  $22.89 \pm 1.25$  cm이고 굴참나무는  $19.10 \pm 2.17$  cm 이다. 태화산 학슬림과 가장 가까운 이천 기상대의 30년간(1981-2010년) 연 평균기온과 연 강수량은 11.6 °C, 1,371 mm 다(표 1.).

광릉국립수목원은 조선시대 왕릉이 위치해 있어 오랫동안 비교적 인위적인 교란을 적게 받았으며(Korea National Arboretum 2016, 권보람 2016), 본 조사지 내에는 생태타워가 설치되어 있어 활발한 연구가 진행 중이다. 광릉국립수목원은 전나무림(37.7486 N, 127.1622.78E, 135m a.s.l.)과 활엽수림(37.304047 N, 127.314244 E; 234 m a.s.l.)을 연구대상지로 선정하였다. 9영급 조림지인 전나무림에서 총 18본의 전나무를 연구대상목으로 선발하였으며, 선발된 개체목의 평균 흉고직경은  $36.28 \pm$

1.13 cm이다. 광릉 활엽수림은 졸참나무와 서어나무가 우점하고 있는 천연림으로, 임관의 상층부는 주로 졸참나무와 서어나무로 이루어져 있으며 하층에는 까치박달 등이 서식하고 있다. 졸참나무 7본, 서어나무 3본, 까치박달 2본을 조사 대상수종으로 선발하였으며, 조사를 시작할 당시, 연구대상목의 평균 흉고직경은 졸참나무  $50.88 \pm 3.54$  cm, 서어나무는  $30.64 \pm 3.13$  cm, 까치박달은  $10.93 \pm 1.37$  cm 이다. 국립수목원 인근의 동두천 기상대의 30년(1980-2010년) 연 평균기온과 연 강수량은  $11.2^{\circ}\text{C}$ , 1,503 mm 이며, 조사기간 동안의 평균기온은  $11.3^{\circ}\text{C}$ 이며 연 평균 강수량은 1,083 mm 이다.

표 2. 조사대상 수종 및 각 수종별 평균 흉고직경(DBH)과 갯수

Site	Species	DBH(cm)	n
태화산 학술림	<i>P. koraiensis</i> (잣나무)	$29.27 \pm 1.30$	18
	<i>Q. aliena</i> (갈참나무)	$22.89 \pm 1.25$	31
	<i>Q. variabilis</i> (굴참나무)	$19.10 \pm 2.17$	7
국립수목원	<i>A. holophylla</i> (전나무)	$36.28 \pm 1.13$	18
	<i>Q. serrata</i> (졸참나무)	$50.88 \pm 3.54$	7
	<i>C. laxiflora</i> (서어나무)	$30.64 \pm 3.13$	3
	<i>C. cordata</i> (까치박달)	$10.93 \pm 1.37$	2



## 2. 직경생장량과 순일차생산량

직경생장량은 자체 제작한 직경생장밴드를 이용하여 측정하였다. 직경생장밴드를 잣나무는 2011년 11월, 나머지 수종은 2012년 11월에 각각 흉고높이에 설치하여 조사를 시작하였다. 조사기간은 2013년부터 2018년까지 진행되었으며, 3월에서 12월까지 연 8에서 16회, 주기적으로 조사지를 방문하여 직경자료를 수집하였다. 각 개체목의 연간 상대생장률(Relative Growth Rate, RGR)은 다음과 같은 식을 이용하여 계산하였다.

$$RGR = \frac{\text{Diameter growth}}{DBH}$$

건중량은 각 수종별 상대생장식을 이용하여 계산하였으며, 순일차생산량(Net Primary Productivity, NPP)은 연 최종 건중량과 최초 건중량의 차를 이용하여 산출하였다(Park et al. 2018).

## 3. 환경변수

태화산에는 25m 높이의 타워가 설치되어 있어 평균기온과 상대습도, 광합성 유효광(Photosynthetically active radiation, PAR), 강수량 등을 측정하고 있다. 평균기온과 상대습도는 HMP45C (Campbell Scientific, Logan, UT, USA)를 이용하였고, 광합성 유효광은 퀀텀센서(LI-190, LI-Cor, Lincoln, NE, USA), 강수량은 강우량계(03319-00, Cole-Parmer, Vernon Hills, IL, USA))를 설치하여 측정하였다. 측정된 각 환경인자들의 자료들을 30분 평균 자료로 변환하여 분석에 이용하였다. 대기 수분

포차(Vapor Pressure Deficit, VPD)는 측정된 평균기온과 상대습도를 이용하여 산출하였다.

$$VPD = (0.611 * e^{\frac{17.27 * Temperature}{Temperature + 273.3}}) - \frac{Relative\ humidity}{100} * (0.611 * e^{\frac{17.27 * Temperature}{Temperature + 273.3}})$$

광릉국립수목원의 환경자료는 국가농림기상센터에서 측정된 데이터를 이용하였다. 광릉국립수목원의 전나무림과 활엽수림에는 각각 40m 높이의 타워가 설치되어 있다. 두 타워에서는 HMP45C (Vaisala, Finland)를 이용하여 평균기온을 측정하였고, 수증기 농도는 LI-6262(Li-Cor, USA)를 이용하여 30분 간격으로 측정하였다. 강수량은 WDSA-205 (Wedaen, South Korea) 이용하였다. 전나무림과 활엽수림 조사대상지의 상대습도는 측정된 평균기온과 수증기 농도를 이용하여 산출하였으며, 대기 수분 포차(Vapor Pressure Deficit, VPD)는 위에 언급한 방법과 동일하게 산출하였다.

#### 4. 연간 직경생장량과 환경변수의 상관관계

환경인자가 연간 직경생장량에 미치는 영향을 알아보기 위해, 연간 직경생장량과 환경인자 중 평균기온, 광합성유효광(Photosynthetic Active Radiation, PAR), 강수량, 포차(Vapor Pressure Deficit, VPD)에 대해서 상관분석을 하였다. 상관분석은 R 통계 프로그램을 이용하여 피어슨 상관분석(Pearson correlation)을 실시하였다. 환경인자는 기간을 월 별로 나누어 전년도 1월부터 당년도 9월까지 월 구간별로 분석하였으며, 각 구간별 피어슨 상관계수(Pearson correlation coefficient,  $r$ )를 이용하여 피어슨 상관계수 분포표를 구하였다. 피어슨 상관계수 분포표에서 행 제목은 처음 월을 나타내며, 열 제목은 마지막 월을 나타내며, 'p'는 전년도, 't'는 당년도를 나타낸다. 예를 들어(그림 1.), 연간 직경생장량과 전년도 6월부터 7월까지의 평균기온을 분석값은 행 제목에서 전년도 6월을 나타내는 'p6'과 열 제목에서 전년도 7월을 나타내는 'p7'에 해당하는 부분에 표시된다. 피어슨 상관계수가 1에 가까울수록 파란색, -1에 가까울수록 빨간색으로 나타났다.

	p1	p2	t3	t4
p1	-0.72	-0.01	0.86	-0.15
p2		0.14	0.61	0.83
t2			-0.63	0.94

t : 당해  
p : 전년도

그림 1 . 연간 직경생장량과 환경변수의 상관계수표

### III. 결과

#### 1. 수종별 연간 흉고직경 생장량, 상대생장률과 순일차생산량

수종별 직경생장량의 연간 변화를 알아보기 위해, 직경생장밴드를 이용하여 조사한 결과, 잣나무의 2013년 직경생장량은  $2.65 \pm 0.3$  mm였다. 하지만, 이듬해인 2014년에는 약간 감소하였다(2.36  $\pm$  0.2mm), 이후 2015년(3.59  $\pm$  0.4mm)과 2016년(3.60  $\pm$  0.5mm)에 증가하였다. 하지만 그 이후, 2017년에 감소하였으며(2.77  $\pm$  0.3mm), 2018년(3.27  $\pm$  0.3mm)에 다시 증가하였고, 조사 기간 증가하는 경향을 보였다(표2.). 굴참나무와 졸참나무의 직경생장량은 조사가 시작된 2013년에는 각각 3.42  $\pm$  1.0 mm 와 4.63  $\pm$  0.8mm였다. 이듬해인 2014년에는 굴참나무는 3.54  $\pm$  1.1 mm, 졸참나무는 4.73  $\pm$  0.8 mm도 생장량이 증가하였으나, 2015년부터 2017년까지 지속해서 감소하였다. 이후, 2018년에 다시 생장량이 증가하였다(굴참나무 2.88  $\pm$  0.8 mm, 졸참나무 3.92  $\pm$  0.4mm). 갈참나무의 생장량은 2013년에는 4.14  $\pm$  0.5 mm였으며, 2014년에도 큰 변화를 보이지 않았다(4.10  $\pm$  0.5 mm). 하지만 2015년에 증가하였으며(4.37  $\pm$  0.5 mm), 이후 2017년(3.47  $\pm$  0.4 mm)까지 감소하였으며, 2018년에는 다른 참나무속 수종들과 마찬가지로 소폭 증가하였다(3.60  $\pm$  0.4 mm)(표 2.). 전나무와 서어나무는 2013년에 각각 1.54  $\pm$  0.2 mm 와 2.08  $\pm$  1.5 mm였다. 2017년까지 연간 직경생장량의 변화에 큰 변화를 보이지 않았지만, 2018년에 생장량이 지난해보다 크게 증가하는 모습을 보였다(표 3.). 까치박달은 2013년에 생장량이 0.76  $\pm$  0.2 mm였으며, 2017년까지 감소하다가 2018년(0.64  $\pm$  0.4mm)에 소폭 증가하였다. 잣나무는 13년에 비해 2018년의 생장량이 19.1% 증가하였으나, 갈참나무와 굴참나무는 각각

15.0%와 19.0% 감소하였다. 국립수목원의 전나무와 서어나무는 각각 2018년의 성장량이 2013년에 비해 25.0%와 39% 증가했지만, 졸참나무와 까치박달은 각각 18.1%, 20.0% 감소하였다. 이처럼 같은 환경의 영향을 받는 임분이라 하더라도 수종에 따라 직경 성장의 반응에 있어 차이가 나타났다. 또한, 갈참나무, 굴참나무, 졸참나무와 같은 참나무속의 수종들은 강수량이 많았던 2013년 혹은 그 이듬해인 2014년에 직경 성장이 가장 활발하였다가 그 이후로, 급격히 감소하는 경향을 보였다. 하지만 또 다른 같은 속인 서어나무와 까치박달은 연간 성장변화에 있어 약간의 차이를 보였다. 까치박달은 2018년 성장량이 증가하기 전, 2017년까지 지속적으로 감소하였으나, 서어나무는 큰 변화를 보이지 않거나 약간 증가하였다. 이러한 성장변화는 전나무에서 나타났다.

졸참나무의 직경성장량의 경우, 다른 수종에 비해서 큰 것을 알 수 있는데(그림 2a.), 상대성장률은 다른 수종들에 비해 작다(그림 2b.). 이것은 졸참나무의 흉고직경이 다른 수종들의 조사대상목 보다 크기 때문에 직경성장량 보다 상대성장률을 작게 나타나는 것으로 보인다.

표 3 태화산 대상지의 수종별 연간 직경생장량, RGR, NPP

Species	Year	Diameter		NPP (kg C tree <sup>-1</sup> )
		increment (mm)	RGR (%)	
<i>P. koraiensis</i>	2013	2.65 ± 0.3	0.88 ± 0.08	4.35 ± 0.57
	2014	2.36 ± 0.2	1.18 ± 0.07	3.86 ± 0.28
	2015	3.59 ± 0.4	1.18 ± 0.13	5.99 ± 0.78
	2016	3.60 ± 0.5	1.16 ± 0.50	6.19 ± 0.99
	2017	2.77 ± 0.3	0.09 ± 0.30	4.69 ± 0.61
	2018	3.27 ± 0.3	1.06 ± 0.30	5.52 ± 0.60
<i>Q. aliena</i>	2013	4.14 ± 0.5	1.66 ± 0.16	4.09 ± 0.73
	2014	4.10 ± 0.5	1.62 ± 0.12	4.13 ± 0.69
	2015	4.37 ± 0.5	1.73 ± 0.12	4.53 ± 0.76
	2016	3.83 ± 0.4	1.49 ± 0.11	4.09 ± 0.68
	2017	3.47 ± 0.4	1.34 ± 0.11	3.62 ± 0.55
	2018	3.60 ± 0.4	1.36 ± 0.10	3.88 ± 0.61
<i>Q. variabilis</i>	2013	3.42 ± 1.0	1.59 ± 0.36	2.73 ± 0.90
	2014	3.54 ± 1.1	1.60 ± 0.40	2.93 ± 1.04
	2015	3.26 ± 0.9	1.49 ± 0.31	2.71 ± 0.88
	2016	2.88 ± 0.8	1.27 ± 0.29	2.46 ± 0.85
	2017	2.71 ± 0.7	1.19 ± 0.24	2.35 ± 0.75
	2018	2.88 ± 0.8	1.26 ± 0.28	2.93 ± 1.11

표 4 국립수목원 대상지의 수종별 연간 직경생장량, RGR, NPP

Species	Year	Diameter increment (mm)	RGR (%)	NPP (kg C tree <sup>-1</sup> )
<i>A. holophylla</i>	2013	1.54 ± 0.2	0.42 ± 0.04	3.55 ± 0.42
	2014	1.64 ± 0.2	0.44 ± 0.05	3.84 ± 0.52
	2015	1.51 ± 0.2	0.41 ± 0.04	3.54 ± 0.45
	2016	1.78 ± 0.2	0.48 ± 0.05	4.17 ± 0.49
	2017	1.54 ± 0.2	0.41 ± 0.04	3.61 ± 0.44
	2018	2.05 ± 0.2	0.54 ± 0.05	5.89 ± 1.06
<i>Q. serrata</i>	2013	4.63 ± 0.8	0.94 ± 0.14	23.26 ± 5.46
	2014	4.73 ± 0.8	0.93 ± 0.12	24.64 ± 5.93
	2015	3.74 ± 0.6	0.72 ± 0.10	20.13 ± 5.12
	2016	3.71 ± 0.5	0.72 ± 0.08	19.58 ± 3.93
	2017	3.28 ± 0.4	0.65 ± 0.08	17.09 ± 3.08
	2018	3.92 ± 0.4	0.76 ± 0.07	20.79 ± 3.22
<i>C. laxiflora</i>	2013	2.08 ± 1.5	0.81 ± 0.64	3.99 ± 2.44
	2014	1.87 ± 1.4	0.72 ± 0.57	3.66 ± 2.27
	2015	1.95 ± 1.5	0.74 ± 0.60	3.86 ± 2.64
	2016	2.31 ± 1.9	0.87 ± 0.74	4.61 ± 3.46
	2017	2.19 ± 2.0	0.81 ± 0.74	4.39 ± 3.78
	2018	3.40 ± 2.8	1.21 ± 1.02	7.22 ± 5.45
<i>C. cordata</i>	2013	0.76 ± 0.2	0.69 ± 0.09	0.46 ± 0.19
	2014	0.61 ± 0.3	0.53 ± 0.19	0.38 ± 0.23
	2015	0.64 ± 0.5	0.53 ± 0.39	0.42 ± 0.36
	2016	0.41 ± 0.4	0.34 ± 0.27	0.29 ± 0.23
	2017	0.35 ± 0.2	0.29 ± 0.16	0.23 ± 0.17
	2018	0.64 ± 0.4	0.53 ± 0.33	0.43 ± 0.33



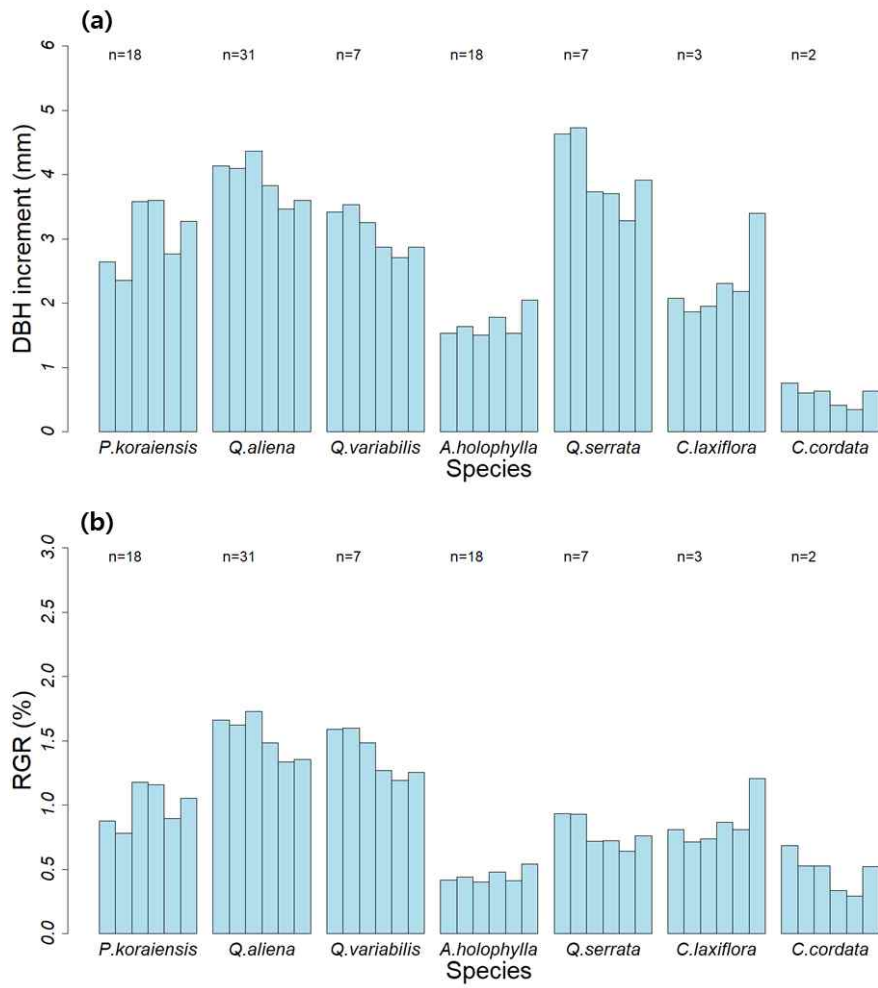


그림 2 수종별 연간 직경생장량(a) 및 연간 상대생장률(b)

## 2. 수종별 흉고직경과 직경생장량의 상관관계

수종별 및 연도별로 흉고직경과 직경생장량 및 상대생장률의 상관관계를 분석해 본 결과, 대부분의 수종에 흉고직경이 클수록, 연간 직경생장이 더 많이 일어나는 것을 알 수 있었다. 하지만, 서어나무의 경우 반대로, 흉고직경이 클수록 연간 직경생장량이 감소하는 경향이 보였다( $p < 0.01$ ,  $R^2 = 0.80$ ). 이는 흉고직경과 상대생장률의 상관관계를 분석해도 같은 결과가 나왔다( $p < 0.01$ ,  $R^2 = 0.45$ ). 졸참나무의 경우 흉고직경과 직경생장량 및 상대생장률의 상관관계를 분석하였을 때, 두 경우 모두 유의하지 않았다.

## 3. 수종별 연간 직경생장량과 주요 환경인자와의 상관관계

산림의 환경인자가 수목의 연간 직경생장량에 수종별로 미치는 영향과 그 차이를 알아보기 위해 수종별 연간 직경생장량과 주요 환경인자와의 상관분석을 실시한 결과, 잣나무(그림 3, 그림 4, 그림 5, 그림 6.)는 생장이 일어난 전년도 6, 7, 8월의 평균기온과 음의 상관관계( $p = 0.04$ ,  $R^2 = 0.70$ )를 가졌으며(그림 3), 구간별로 봤을 때는 6월에서 7월까지의 평균기온과 음의 상관관계를 보였다( $p < 0.01$ ,  $R^2 = 0.87$ ). 강수량의 경우, 생장이 일어난 해와 그 전년도 전반에 걸친 구간에서 음의 상관관계를 보였다( $p < 0.05$ ,  $R^2 > 0.66$ )(그림 8). 하지만, PAR와는 전반적으로 음의 상관관계를 가졌으나 통계적으로 유의한 상관관계를 보이지는 않았으며, VPD와도 유의한 상관관계를 보이지 않았다.

갈참나무(그림 7, 그림 8, 그림 9, 그림 10.)는 전년도 5월과 광 조건

과 유의한 양의 상관관계를 가졌으나(그림 8), 그 외의 환경인자와는 유의한 상관관계를 보이지는 않았다. 하지만, 생장이 일어난 전년도 9-10월의 강수량과 약한 양의 상관관계를 보였다(그림 9).

굴참나무(그림 11, 그림 12, 그림 13, 그림 14.)는 생장이 일어난 전년도 9월의 강수량과 유의한 양의 상관관계를 가졌다( $p = 0.01$ ,  $R^2 = 0.84$ )(그림 13). 또한, 전반적인 구간에서 PAR와 양의 상관관계를 가졌으며, 특히, 전년도 10월의 PAR와는 유의한 상관관계를 보였다. 평균기온과 VPD와는 유의한 상관관계를 보이지는 않았다.

전나무(그림 15, 그림 16, 그림 17, 그림 18.)는 강수량과 눈에 띄는 관련성을 보였는데, 전나무의 직경생장량은 당해 초여름의 강수량과 유의한 양의 상관관계를 가졌다( $p < 0.01$ ,  $R^2 = 0.96$ )(그림 17). PAR 역시 같은 기간에 유의하지는 않지만, 음의 상관관계를 가졌는데, 이는 PAR와 강수량이 반비례하는 것과 관련이 있는 것으로 추정된다. 평균기온과 VPD는 유의한 상관관계를 보이지 않았다.

줄참나무(그림 19, 그림 20, 그림 21, 그림 22.)는 굴참나무와 비슷하게 강수량과 관련성을 보였다. 줄참나무의 직경생장량과 강수량은 전반적으로 양의 상관관계를 보였으며, 9월의 강수량과 유의한 양의 상관관계를 보였다( $p = 0.03$ ,  $R^2 = 0.73$ )(그림 21). 나머지 환경인자와는 전반적으로 음의 상관관계를 보였다.

서어나무(그림 23, 그림 24, 그림 25, 그림 26.)는 전나무와 유사하게 생장이 발생한 당해의 4월부터 6월까지의 강수량과 유의한 양의 상관관계를 보였으며( $p = 0.01$ ,  $R^2 = 0.81$ )(그림 25), 전나무와 마찬가지로, 같은 구간의 PAR와 유의하지는 않지만, 음의 상관관계를 가졌다. 전년도 6월 VPD와는 양의 상관관계를 가지지만 유의하지는 않았다.

까치박달(그림 27, 그림 28, 그림 29, 그림 30.)은 전년도 여름부터

가을까지의 강수량과 양의 상관관계를 가지며( $p < 0.04$ ,  $R^2 > 0.69$ ), 전  
년도 늦여름부터 초가을까지의 VPD와 음의 상관관계를 가진다( $p =$   
 $0.03$ ,  $R^2 = 0.73$ )(그림 29, 그림 30).

	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9
p1	0.962	0.874	0.807	0.791	0.770	0.721	0.676	0.468	0.397	0.357	0.497	0.418	0.348	0.303	0.320	0.325	0.337	0.373	0.422	0.530	0.548
p2		0.726	0.672	0.688	0.662	0.572	0.468	0.159	0.137	0.089	0.318	0.272	0.210	0.171	0.190	0.212	0.229	0.264	0.309	0.424	0.444
p3			0.557	0.584	0.533	0.356	0.126	-0.255	-0.189	-0.240	0.114	0.126	0.075	0.045	0.068	0.110	0.133	0.168	0.210	0.336	0.358
p4				0.528	0.455	0.160	-0.217	-0.545	-0.436	-0.482	-0.047	0.027	-0.015	-0.038	-0.012	0.045	0.071	0.105	0.144	0.271	0.292
p5					0.045	-0.653	-0.894	-0.877	-0.744	-0.727	-0.300	-0.129	-0.146	-0.152	-0.123	-0.053	-0.024	0.004	0.032	0.144	0.163
p6						-0.827	-0.930	-0.919	-0.780	-0.749	-0.315	-0.135	-0.151	-0.155	-0.125	-0.054	-0.026	0.003	0.030	0.141	0.160
p7							-0.838	-0.922	-0.698	-0.669	-0.149	-0.026	-0.060	-0.076	-0.047	0.014	0.040	0.072	0.107	0.226	0.243
p8								-0.830	-0.501	-0.508	0.065	0.096	0.041	0.014	0.038	0.086	0.109	0.144	0.186	0.310	0.326
p9									0.041	-0.097	0.422	0.300	0.206	0.157	0.175	0.201	0.220	0.259	0.314	0.439	0.451
p10										-0.359	0.549	0.349	0.233	0.174	0.193	0.219	0.239	0.281	0.344	0.476	0.484
p11											0.689	0.423	0.289	0.220	0.239	0.258	0.276	0.321	0.391	0.529	0.535
p12												0.130	0.019	-0.004	0.032	0.099	0.130	0.180	0.245	0.411	0.421
t1													-0.156	-0.114	-0.048	0.069	0.115	0.184	0.285	0.498	0.492
t2														-0.067	0.039	0.163	0.217	0.316	0.435	0.557	0.533
t3															0.155	0.260	0.330	0.464	0.520	0.556	0.535
t4																0.295	0.378	0.575	0.659	0.624	0.592
t5																	0.522	0.602	0.490	0.488	0.474
t6																		0.403	0.297	0.394	0.395
t7																			0.173	0.358	0.366
t8																				0.471	0.443
t9																					0.264

그림 3. 잣나무의 연간 성장량과 평균기온의 상관계수 분포도

	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9
p1	-0.670	-0.655	-0.714	-0.717	-0.607	-0.654	-0.539	-0.658	-0.569	-0.556	-0.582	-0.561	-0.559	-0.577	-0.538	-0.554	-0.597	-0.546	-0.434	-0.248	-0.206
p2		-0.600	-0.675	-0.699	-0.579	-0.631	-0.509	-0.641	-0.538	-0.530	-0.563	-0.542	-0.538	-0.557	-0.516	-0.532	-0.578	-0.523	-0.401	-0.210	-0.169
p3			-0.530	-0.757	-0.563	-0.651	-0.465	-0.627	-0.491	-0.492	-0.542	-0.518	-0.518	-0.546	-0.499	-0.519	-0.575	-0.507	-0.362	-0.148	-0.106
p4				-0.648	-0.397	-0.569	-0.331	-0.525	-0.395	-0.433	-0.485	-0.461	-0.464	-0.492	-0.442	-0.465	-0.529	-0.455	-0.310	-0.098	-0.059
p5					0.059	-0.468	-0.077	-0.336	-0.187	-0.290	-0.379	-0.362	-0.376	-0.423	-0.376	-0.409	-0.488	-0.404	-0.238	-0.011	0.023
p6						-0.666	-0.145	-0.382	-0.220	-0.329	-0.437	-0.422	-0.433	-0.475	-0.422	-0.445	-0.527	-0.432	-0.251	-0.018	0.018
p7							0.342	-0.094	0.048	-0.148	-0.286	-0.279	-0.312	-0.384	-0.333	-0.377	-0.481	-0.372	-0.170	0.072	0.101
p8								-0.474	-0.232	-0.389	-0.568	-0.545	-0.538	-0.570	-0.484	-0.487	-0.573	-0.452	-0.228	0.008	0.042
p9									0.367	-0.121	-0.314	-0.288	-0.289	-0.354	-0.291	-0.333	-0.424	-0.319	-0.117	0.086	0.109
p10										-0.431	-0.583	-0.492	-0.472	-0.500	-0.396	-0.418	-0.506	-0.383	-0.164	0.052	0.078
p11											-0.504	-0.371	-0.363	-0.385	-0.285	-0.322	-0.429	-0.296	-0.087	0.115	0.133
p12												-0.105	-0.165	-0.276	-0.196	-0.255	-0.381	-0.242	-0.031	0.165	0.179
t1													-0.132	-0.266	-0.193	-0.251	-0.380	-0.237	-0.024	0.171	0.184
t2														-0.350	-0.206	-0.275	-0.434	-0.252	-0.011	0.199	0.209
t3															-0.034	-0.227	-0.454	-0.212	0.056	0.268	0.269
t4																-0.331	-0.602	-0.260	0.069	0.296	0.293
t5																	-0.742	-0.179	0.186	0.404	0.382
t6																		0.197	0.321	0.486	0.452
t7																			0.322	0.524	0.481
t8																				0.704	0.583
t9																					0.222

그림 4. 잣나무의 연간 성장량과 PAR의 상관계수 분포도

	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9
p1	0.307	0.023	-0.605	-0.559	-0.719	-0.753	-0.916	-0.790	-0.839	-0.866	-0.808	-0.826	-0.834	-0.813	-0.773	-0.694	-0.561	-0.563	-0.607	-0.670	-0.655
p2		-0.142	-0.675	-0.564	-0.734	-0.780	-0.926	-0.805	-0.850	-0.876	-0.822	-0.839	-0.847	-0.826	-0.786	-0.708	-0.573	-0.573	-0.608	-0.668	-0.653
p3			-0.719	-0.483	-0.761	-0.762	-0.915	-0.786	-0.830	-0.854	-0.799	-0.817	-0.824	-0.803	-0.761	-0.681	-0.548	-0.547	-0.581	-0.646	-0.633
p4				-0.338	-0.733	-0.722	-0.889	-0.739	-0.801	-0.827	-0.766	-0.785	-0.794	-0.771	-0.725	-0.637	-0.503	-0.506	-0.558	-0.627	-0.616
p5					-0.542	-0.692	-0.856	-0.672	-0.763	-0.790	-0.734	-0.757	-0.767	-0.746	-0.697	-0.596	-0.464	-0.469	-0.563	-0.627	-0.618
p6						-0.323	-0.778	-0.568	-0.683	-0.704	-0.637	-0.660	-0.672	-0.644	-0.590	-0.477	-0.354	-0.362	-0.446	-0.524	-0.530
p7							-0.785	-0.553	-0.693	-0.716	-0.655	-0.679	-0.694	-0.666	-0.602	-0.473	-0.338	-0.347	-0.432	-0.504	-0.515
p8								0.288	-0.351	-0.284	-0.064	-0.103	-0.141	-0.049	0.043	0.266	0.267	0.200	0.031	-0.126	-0.216
p9									-0.734	-0.651	-0.365	-0.408	-0.422	-0.320	-0.236	0.108	0.190	0.110	-0.062	-0.214	-0.289
p10										0.466	0.564	0.496	0.467	0.505	0.585	0.799	0.621	0.549	0.192	0.028	-0.094
p11											0.377	0.333	0.296	0.360	0.425	0.656	0.500	0.428	0.140	-0.027	-0.142
p12												-0.174	-0.402	0.110	0.363	0.623	0.430	0.322	0.058	-0.103	-0.203
t1													-0.340	0.305	0.426	0.618	0.436	0.327	0.069	-0.097	-0.198
t2														0.554	0.456	0.624	0.444	0.343	0.083	-0.084	-0.188
t3															0.331	0.575	0.413	0.306	0.053	-0.112	-0.212
t4																0.666	0.430	0.293	0.017	-0.149	-0.247
t5																	0.233	0.085	-0.113	-0.265	-0.344
t6																		-0.227	-0.195	-0.343	-0.421
t7																			-0.160	-0.326	-0.417
t8																				-0.428	-0.614
t9																					-0.530

그림 5. 잣나무의 연간 성장량과 강수량의 상관계수 분포도

	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9
p1	0.726	0.608	0.655	0.679	0.627	0.472	0.415	0.147	0.207	0.145	0.152	0.182	0.220	0.260	0.378	0.514	0.582	0.767	0.983	0.870	0.836
p2		0.401	0.585	0.655	0.595	0.403	0.365	0.098	0.165	0.102	0.109	0.141	0.177	0.215	0.338	0.479	0.554	0.758	0.974	0.843	0.811
p3			0.574	0.651	0.565	0.349	0.330	0.071	0.141	0.079	0.087	0.120	0.156	0.193	0.318	0.461	0.542	0.752	0.962	0.824	0.793
p4				0.487	0.400	0.184	0.213	-0.020	0.060	0.000	0.008	0.043	0.075	0.105	0.235	0.389	0.489	0.739	0.944	0.782	0.749
p5					0.266	0.037	0.118	-0.102	-0.012	-0.068	-0.062	-0.025	0.001	0.027	0.157	0.307	0.412	0.714	0.904	0.736	0.706
p6						-0.128	0.057	-0.186	-0.071	-0.129	-0.123	-0.080	-0.056	-0.031	0.119	0.289	0.400	0.768	0.841	0.685	0.658
p7							0.175	-0.165	-0.035	-0.103	-0.094	-0.047	-0.017	0.015	0.177	0.360	0.436	0.768	0.821	0.712	0.676
p8								-0.464	-0.197	-0.272	-0.259	-0.179	-0.150	-0.120	0.154	0.388	0.456	0.735	0.628	0.584	0.568
p9									0.474	0.068	0.103	0.212	0.311	0.406	0.625	0.604	0.612	0.716	0.587	0.561	0.550
p10										-0.379	-0.383	-0.089	0.077	0.203	0.525	0.490	0.538	0.629	0.510	0.505	0.499
p11											0.107	0.359	0.460	0.475	0.634	0.548	0.594	0.633	0.524	0.518	0.511
p12												0.526	0.523	0.462	0.639	0.541	0.593	0.635	0.519	0.511	0.504
t1													0.277	0.280	0.542	0.483	0.556	0.605	0.491	0.488	0.484
t2														0.267	0.645	0.526	0.602	0.638	0.504	0.497	0.491
t3															0.827	0.590	0.650	0.680	0.526	0.512	0.504
t4																0.374	0.532	0.624	0.478	0.478	0.474
t5																	0.571	0.730	0.483	0.479	0.473
t6																		0.545	0.398	0.425	0.427
t7																			0.273	0.362	0.376
t8																				0.430	0.442
t9																					0.411

그림 6. 잣나무의 연간 성장량과 VPD의 상관계수 분포도



	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9
p1	0.157	0.054	0.048	-0.088	-0.122	-0.134	-0.208	-0.303	-0.308	-0.307	-0.162	-0.237	-0.133	-0.051	-0.069	-0.116	-0.101	-0.084	-0.159	-0.214	-0.208
p2		-0.041	-0.010	-0.171	-0.208	-0.231	-0.340	-0.430	-0.404	-0.397	-0.228	-0.289	-0.170	-0.078	-0.098	-0.144	-0.127	-0.110	-0.194	-0.258	-0.251
p3			0.020	-0.242	-0.290	-0.328	-0.489	-0.522	-0.498	-0.488	-0.292	-0.339	-0.195	-0.087	-0.109	-0.159	-0.141	-0.123	-0.220	-0.299	-0.291
p4				-0.391	-0.434	-0.491	-0.677	-0.596	-0.592	-0.568	-0.361	-0.381	-0.218	-0.098	-0.121	-0.171	-0.151	-0.133	-0.238	-0.323	-0.312
p5					-0.494	-0.241	-0.333	-0.322	-0.378	-0.339	-0.172	-0.264	-0.115	-0.009	-0.032	-0.094	-0.077	-0.056	-0.150	-0.225	-0.213
p6						-0.019	-0.189	-0.250	-0.320	-0.281	-0.116	-0.232	-0.086	0.018	-0.006	-0.071	-0.056	-0.033	-0.125	-0.197	-0.185
p7							-0.316	-0.338	-0.391	-0.333	-0.126	-0.243	-0.087	0.020	-0.004	-0.072	-0.056	-0.033	-0.126	-0.197	-0.185
p8								-0.299	-0.344	-0.288	-0.044	-0.196	-0.049	0.052	0.027	-0.045	-0.030	-0.006	-0.096	-0.163	-0.152
p9									-0.249	-0.190	0.079	-0.137	0.007	0.104	0.075	-0.006	0.008	0.034	-0.053	-0.116	-0.104
p10										0.004	0.247	-0.094	0.065	0.165	0.129	0.029	0.043	0.073	-0.019	-0.085	-0.073
p11											0.264	-0.101	0.069	0.173	0.136	0.030	0.045	0.077	-0.020	-0.090	-0.077
p12												-0.376	-0.053	0.112	0.067	-0.045	-0.023	0.012	-0.119	-0.210	-0.188
t1													0.456	0.496	0.381	0.139	0.159	0.226	0.073	-0.053	-0.031
t2														0.528	0.265	-0.031	0.009	0.081	-0.162	-0.248	-0.203
t3															-0.150	-0.306	-0.237	-0.170	-0.424	-0.399	-0.343
t4																-0.371	-0.248	-0.147	-0.522	-0.434	-0.364
t5																	0.255	0.398	-0.241	-0.254	-0.206
t6																		0.330	-0.296	-0.283	-0.235
t7																			-0.556	-0.401	-0.335
t8																				-0.259	-0.173
t9																					0.108

그림 7. 갈참나무의 연간 생장량과 평균기온의 상관계수 분포도

	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9
p1	0.634	0.492	0.516	0.480	0.597	0.489	0.571	0.405	0.433	0.482	0.491	0.519	0.480	0.402	0.391	0.282	0.285	0.205	0.131	0.076	0.058
p2		0.393	0.443	0.432	0.578	0.455	0.552	0.365	0.395	0.455	0.468	0.500	0.457	0.373	0.364	0.249	0.253	0.169	0.092	0.038	0.022
p3			0.327	0.431	0.665	0.469	0.596	0.321	0.363	0.447	0.470	0.511	0.462	0.363	0.353	0.217	0.223	0.125	0.037	-0.018	-0.032
p4				0.351	0.608	0.428	0.532	0.253	0.310	0.423	0.446	0.489	0.438	0.330	0.319	0.181	0.190	0.090	0.002	-0.049	-0.061
p5					0.815	0.474	0.539	0.143	0.215	0.378	0.425	0.482	0.429	0.306	0.298	0.139	0.150	0.038	-0.058	-0.105	-0.113
p6						-0.059	0.273	-0.151	-0.040	0.201	0.270	0.354	0.296	0.169	0.181	0.019	0.033	-0.075	-0.163	-0.194	-0.194
p7							0.318	-0.135	-0.019	0.257	0.344	0.435	0.382	0.226	0.231	0.035	0.052	-0.076	-0.174	-0.202	-0.199
p8								-0.511	-0.308	0.126	0.239	0.372	0.278	0.103	0.129	-0.063	-0.043	-0.156	-0.227	-0.245	-0.238
p9									0.288	0.548	0.643	0.705	0.550	0.340	0.313	0.097	0.110	-0.020	-0.108	-0.143	-0.144
p10										0.626	0.645	0.703	0.537	0.288	0.267	0.046	0.061	-0.066	-0.145	-0.176	-0.172
p11											0.321	0.519	0.301	0.011	0.060	-0.144	-0.119	-0.219	-0.259	-0.267	-0.252
p12												0.758	0.221	-0.138	-0.026	-0.236	-0.205	-0.294	-0.309	-0.304	-0.285
t1													-0.225	-0.389	-0.187	-0.354	-0.316	-0.381	-0.367	-0.349	-0.325
t2														-0.479	-0.152	-0.373	-0.328	-0.399	-0.380	-0.358	-0.329
t3															0.167	-0.324	-0.262	-0.380	-0.352	-0.330	-0.303
t4																-0.649	-0.473	-0.559	-0.425	-0.382	-0.346
t5																	0.120	-0.443	-0.316	-0.297	-0.270
t6																		-0.484	-0.345	-0.308	-0.280
t7																			-0.223	-0.233	-0.217
t8																				-0.208	-0.192
t9																					-0.111

그림 8. 갈참나무의 연간 생장량과 PAR의 상관계수 분포도

	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9
p1	0.245	-0.286	-0.186	0.020	-0.071	0.211	-0.102	-0.073	0.115	0.113	0.122	0.087	0.113	0.117	0.083	0.078	0.015	0.054	-0.030	-0.187	-0.139
p2		-0.497	-0.268	-0.024	-0.100	0.181	-0.113	-0.083	0.106	0.104	0.113	0.077	0.104	0.108	0.074	0.068	0.007	0.045	-0.037	-0.191	-0.143
p3			0.109	0.122	0.014	0.284	-0.073	-0.044	0.135	0.136	0.145	0.110	0.136	0.140	0.106	0.101	0.037	0.073	-0.009	-0.162	-0.119
p4				0.118	-0.021	0.313	-0.087	-0.055	0.131	0.132	0.141	0.105	0.132	0.136	0.100	0.095	0.030	0.067	-0.016	-0.174	-0.128
p5					-0.137	0.324	-0.117	-0.078	0.115	0.114	0.125	0.088	0.116	0.120	0.083	0.076	0.012	0.051	-0.036	-0.203	-0.150
p6						0.647	-0.091	-0.051	0.140	0.143	0.153	0.116	0.145	0.149	0.109	0.100	0.033	0.069	-0.013	-0.175	-0.128
p7							-0.238	-0.170	0.057	0.050	0.060	0.017	0.049	0.053	0.013	0.004	-0.053	-0.010	-0.094	-0.253	-0.193
p8								0.079	0.518	0.614	0.653	0.618	0.690	0.660	0.486	0.374	0.161	0.208	0.057	-0.174	-0.114
p9									0.608	0.651	0.641	0.533	0.589	0.571	0.492	0.494	0.174	0.241	0.029	-0.197	-0.134
p10										-0.108	-0.022	-0.177	-0.066	-0.046	-0.162	-0.158	-0.215	-0.125	-0.181	-0.403	-0.316
p11											0.036	-0.151	-0.016	0.001	-0.127	-0.124	-0.184	-0.097	-0.175	-0.401	-0.308
p12												-0.766	-0.196	-0.132	-0.402	-0.213	-0.234	-0.120	-0.187	-0.393	-0.304
t1													0.764	0.646	-0.028	-0.044	-0.148	-0.046	-0.147	-0.363	-0.276
t2														0.064	-0.242	-0.147	-0.198	-0.095	-0.179	-0.392	-0.300
t3															-0.361	-0.175	-0.216	-0.105	-0.187	-0.397	-0.305
t4																-0.049	-0.179	-0.049	-0.152	-0.374	-0.283
t5																	-0.238	-0.045	-0.144	-0.369	-0.278
t6																		0.328	-0.072	-0.315	-0.235
t7																			-0.137	-0.390	-0.299
t8																				-0.625	-0.405
t9																					0.133

그림 9. 갈참나무의 연간 생장량과 강수량의 상관관계수 분포도

	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9
p1	-0.006	0.008	-0.297	-0.367	-0.291	-0.343	0.024	0.074	0.105	0.170	0.173	0.156	0.148	0.134	0.147	0.022	0.059	-0.091	-0.093	-0.133	-0.086
p2		0.035	-0.387	-0.449	-0.334	-0.366	0.026	0.077	0.109	0.175	0.178	0.161	0.153	0.139	0.154	0.024	0.063	-0.096	-0.097	-0.135	-0.087
p3			-0.489	-0.525	-0.367	-0.373	0.021	0.073	0.105	0.172	0.176	0.160	0.152	0.138	0.153	0.021	0.061	-0.104	-0.103	-0.137	-0.089
p4				-0.367	-0.202	-0.236	0.128	0.151	0.180	0.243	0.248	0.232	0.232	0.224	0.247	0.124	0.166	-0.016	-0.013	-0.082	-0.038
p5					-0.034	-0.144	0.227	0.220	0.244	0.300	0.308	0.291	0.296	0.293	0.324	0.210	0.250	0.067	0.066	-0.037	0.000
p6						-0.197	0.315	0.272	0.294	0.349	0.359	0.340	0.348	0.351	0.392	0.265	0.299	0.092	0.075	-0.032	0.005
p7							0.582	0.396	0.397	0.445	0.450	0.422	0.437	0.452	0.493	0.366	0.365	0.174	0.138	0.011	0.040
p8								0.154	0.219	0.325	0.331	0.290	0.290	0.283	0.336	0.006	0.074	-0.192	-0.113	-0.137	-0.089
p9									0.239	0.423	0.458	0.345	0.290	0.209	0.193	-0.105	-0.029	-0.202	-0.127	-0.141	-0.101
p10										0.496	0.597	0.410	0.281	0.106	0.104	-0.203	-0.103	-0.262	-0.157	-0.161	-0.120
p11											0.030	-0.101	-0.210	-0.285	-0.159	-0.331	-0.223	-0.329	-0.207	-0.198	-0.154
p12												-0.212	-0.288	-0.314	-0.174	-0.341	-0.232	-0.338	-0.210	-0.198	-0.154
t1													-0.210	-0.245	-0.131	-0.322	-0.217	-0.328	-0.198	-0.189	-0.146
t2														-0.270	-0.086	-0.346	-0.215	-0.339	-0.196	-0.187	-0.142
t3															0.066	-0.355	-0.190	-0.338	-0.189	-0.182	-0.136
t4																-0.552	-0.282	-0.428	-0.218	-0.200	-0.149
t5																	0.233	-0.305	-0.120	-0.137	-0.089
t6																		-0.461	-0.166	-0.164	-0.112
t7																			0.003	-0.076	-0.031
t8																				-0.149	-0.054
t9																					0.173

그림 10. 갈참나무의 연간 생장량과 VPD의 상관계수 분포도



	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9
p1	-0.391	-0.467	-0.463	-0.590	-0.618	-0.619	-0.661	-0.668	-0.627	-0.597	-0.530	-0.536	-0.412	-0.313	-0.313	-0.338	-0.330	-0.333	-0.416	-0.495	-0.487
p2		-0.495	-0.467	-0.629	-0.657	-0.653	-0.694	-0.637	-0.586	-0.544	-0.506	-0.510	-0.376	-0.272	-0.271	-0.303	-0.296	-0.300	-0.388	-0.476	-0.468
p3			-0.422	-0.657	-0.685	-0.658	-0.677	-0.512	-0.515	-0.465	-0.476	-0.485	-0.334	-0.218	-0.218	-0.262	-0.257	-0.259	-0.358	-0.460	-0.450
p4				-0.736	-0.754	-0.687	-0.625	-0.380	-0.441	-0.377	-0.439	-0.453	-0.293	-0.170	-0.170	-0.223	-0.219	-0.220	-0.321	-0.426	-0.411
p5					-0.633	0.007	0.144	0.114	-0.029	0.018	-0.083	-0.234	-0.103	-0.004	-0.006	-0.081	-0.083	-0.077	-0.160	-0.247	-0.232
p6						0.364	0.342	0.227	0.064	0.101	-0.007	-0.192	-0.065	0.030	0.027	-0.053	-0.055	-0.048	-0.128	-0.212	-0.197
p7							0.251	0.160	-0.040	0.020	-0.099	-0.255	-0.110	-0.006	-0.008	-0.084	-0.085	-0.080	-0.165	-0.250	-0.234
p8								0.077	-0.151	-0.063	-0.162	-0.289	-0.140	-0.034	-0.034	-0.106	-0.106	-0.101	-0.188	-0.275	-0.258
p9									-0.322	-0.153	-0.206	-0.326	-0.162	-0.050	-0.049	-0.120	-0.119	-0.114	-0.203	-0.285	-0.268
p10										0.264	-0.099	-0.301	-0.118	0.001	0.000	-0.088	-0.088	-0.080	-0.174	-0.260	-0.239
p11											-0.180	-0.358	-0.156	-0.025	-0.025	-0.112	-0.111	-0.103	-0.205	-0.294	-0.271
p12												-0.434	-0.119	0.042	0.038	-0.080	-0.080	-0.070	-0.193	-0.304	-0.272
t1													0.403	0.434	0.381	0.122	0.109	0.141	0.000	-0.146	-0.110
t2														0.461	0.313	-0.026	-0.031	-0.004	-0.220	-0.315	-0.258
t3															-0.011	-0.275	-0.267	-0.258	-0.469	-0.452	-0.386
t4																-0.425	-0.377	-0.371	-0.676	-0.549	-0.459
t5																	-0.080	0.049	-0.372	-0.345	-0.280
t6																		0.122	-0.318	-0.321	-0.263
t7																			-0.476	-0.397	-0.324
t8																				-0.311	-0.204
t9																					0.143

그림 11. 굴참나무의 연간 생장량과 평균기온의 상관계수 분포도

	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9
p1	0.825	0.781	0.868	0.835	0.865	0.816	0.781	0.672	0.673	0.723	0.738	0.748	0.734	0.682	0.655	0.583	0.613	0.524	0.459	0.337	0.301
p2		0.708	0.824	0.808	0.853	0.793	0.761	0.637	0.634	0.695	0.716	0.729	0.711	0.655	0.629	0.551	0.584	0.489	0.416	0.291	0.257
p3			0.659	0.843	0.912	0.817	0.756	0.562	0.562	0.657	0.694	0.714	0.700	0.636	0.607	0.515	0.556	0.443	0.357	0.218	0.183
p4				0.673	0.736	0.715	0.600	0.418	0.439	0.587	0.626	0.648	0.636	0.566	0.537	0.445	0.493	0.375	0.290	0.155	0.124
p5					0.635	0.717	0.441	0.191	0.228	0.462	0.540	0.578	0.576	0.506	0.482	0.381	0.441	0.307	0.212	0.070	0.044
p6						0.412	0.242	-0.033	0.034	0.338	0.442	0.504	0.500	0.424	0.414	0.305	0.369	0.233	0.137	0.004	-0.017
p7							-0.059	-0.234	-0.144	0.249	0.383	0.458	0.478	0.398	0.389	0.268	0.349	0.190	0.084	-0.052	-0.069
p8								-0.290	-0.159	0.344	0.518	0.613	0.583	0.459	0.439	0.290	0.359	0.201	0.090	-0.039	-0.056
p9									0.192	0.649	0.805	0.825	0.740	0.596	0.529	0.376	0.442	0.271	0.142	0.012	-0.008
p10										0.842	0.896	0.884	0.793	0.599	0.520	0.356	0.422	0.247	0.121	-0.007	-0.026
p11											0.491	0.596	0.513	0.279	0.266	0.126	0.214	0.055	-0.030	-0.131	-0.135
p12												0.677	0.422	0.141	0.175	0.035	0.138	-0.021	-0.090	-0.181	-0.180
t1													0.073	-0.063	0.050	-0.061	0.049	-0.093	-0.141	-0.222	-0.216
t2														-0.167	0.038	-0.094	0.043	-0.121	-0.166	-0.248	-0.238
t3															0.217	-0.065	0.127	-0.115	-0.164	-0.253	-0.241
t4																-0.281	0.032	-0.237	-0.227	-0.306	-0.286
t5																	0.577	-0.183	-0.190	-0.288	-0.268
t6																		-0.462	-0.296	-0.352	-0.322
t7																			-0.170	-0.292	-0.270
t8																				-0.404	-0.338
t9																					-0.134

그림 12. 굴참나무의 연간 생장량과 PAR의 상관계수 분포도

	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9
p1	0.156	-0.291	0.010	0.202	0.169	0.492	0.448	0.472	0.636	0.638	0.632	0.605	0.627	0.625	0.591	0.573	0.476	0.507	0.366	0.254	0.288
p2		-0.454	-0.053	0.157	0.143	0.470	0.440	0.465	0.631	0.631	0.627	0.599	0.622	0.619	0.586	0.568	0.471	0.502	0.356	0.246	0.281
p3			0.339	0.278	0.267	0.568	0.476	0.496	0.650	0.652	0.648	0.622	0.644	0.640	0.606	0.585	0.486	0.513	0.369	0.262	0.294
p4				0.228	0.226	0.593	0.466	0.477	0.644	0.648	0.640	0.614	0.638	0.633	0.595	0.570	0.467	0.497	0.361	0.252	0.286
p5					0.050	0.610	0.437	0.432	0.620	0.625	0.624	0.599	0.624	0.622	0.581	0.547	0.445	0.476	0.363	0.239	0.278
p6						0.827	0.454	0.428	0.623	0.629	0.621	0.598	0.624	0.618	0.569	0.523	0.415	0.444	0.332	0.222	0.261
p7							0.322	0.312	0.553	0.552	0.551	0.522	0.553	0.548	0.494	0.440	0.335	0.370	0.249	0.136	0.191
p8								0.112	0.775	0.796	0.764	0.755	0.817	0.749	0.584	0.384	0.207	0.272	0.080	-0.044	0.061
p9									0.915	0.833	0.729	0.635	0.680	0.628	0.574	0.475	0.218	0.310	0.041	-0.078	0.033
p10										-0.525	-0.343	-0.466	-0.376	-0.351	-0.425	-0.470	-0.362	-0.241	-0.276	-0.386	-0.228
p11											-0.090	-0.263	-0.145	-0.148	-0.227	-0.299	-0.240	-0.124	-0.220	-0.333	-0.177
p12												-0.705	-0.167	-0.285	-0.414	-0.355	-0.245	-0.100	-0.204	-0.302	-0.155
t1													0.724	0.409	-0.067	-0.189	-0.165	-0.033	-0.168	-0.273	-0.127
t2														-0.138	-0.264	-0.276	-0.211	-0.079	-0.198	-0.300	-0.150
t3															-0.286	-0.277	-0.209	-0.070	-0.195	-0.294	-0.145
t4																-0.246	-0.189	-0.023	-0.169	-0.275	-0.125
t5																	-0.132	0.086	-0.123	-0.236	-0.091
t6																		0.438	-0.085	-0.207	-0.064
t7																			-0.172	-0.294	-0.132
t8																				-0.329	-0.002
t9																					0.461

그림 13. 굴참나무의 연간 생장량과 강수량의 상관계수 분포도

	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9
p1	-0.520	-0.467	-0.698	-0.793	-0.717	-0.633	-0.315	-0.169	-0.168	-0.068	-0.082	-0.115	-0.136	-0.161	-0.204	-0.362	-0.357	-0.565	-0.550	-0.441	-0.371
p2		-0.355	-0.716	-0.845	-0.732	-0.603	-0.279	-0.135	-0.138	-0.036	-0.050	-0.085	-0.105	-0.127	-0.172	-0.336	-0.334	-0.559	-0.534	-0.419	-0.349
p3			-0.764	-0.894	-0.736	-0.567	-0.257	-0.118	-0.123	-0.021	-0.035	-0.071	-0.090	-0.111	-0.157	-0.323	-0.324	-0.557	-0.524	-0.405	-0.337
p4				-0.693	-0.513	-0.353	-0.097	0.002	-0.013	0.084	0.072	0.034	0.023	0.010	-0.032	-0.198	-0.208	-0.476	-0.421	-0.325	-0.263
p5					-0.283	-0.161	0.057	0.117	0.092	0.184	0.173	0.134	0.131	0.128	0.092	-0.060	-0.075	-0.371	-0.299	-0.244	-0.192
p6						-0.050	0.184	0.208	0.169	0.264	0.254	0.208	0.212	0.216	0.181	0.015	-0.005	-0.351	-0.227	-0.198	-0.152
p7							0.291	0.263	0.206	0.307	0.291	0.238	0.243	0.251	0.211	0.038	0.015	-0.302	-0.192	-0.188	-0.142
p8								0.193	0.123	0.294	0.269	0.186	0.184	0.184	0.104	-0.220	-0.185	-0.527	-0.279	-0.239	-0.190
p9									-0.093	0.315	0.280	0.112	0.070	0.020	-0.086	-0.293	-0.252	-0.448	-0.256	-0.230	-0.191
p10										0.653	0.660	0.310	0.222	0.111	-0.057	-0.288	-0.251	-0.440	-0.239	-0.217	-0.179
p11											-0.187	-0.423	-0.429	-0.403	-0.374	-0.455	-0.401	-0.517	-0.303	-0.265	-0.224
p12												-0.553	-0.434	-0.355	-0.346	-0.434	-0.386	-0.510	-0.293	-0.256	-0.216
t1													-0.143	-0.158	-0.226	-0.369	-0.335	-0.474	-0.263	-0.233	-0.195
t2														-0.163	-0.255	-0.418	-0.367	-0.510	-0.270	-0.237	-0.197
t3															-0.287	-0.482	-0.397	-0.549	-0.281	-0.242	-0.200
t4																-0.532	-0.415	-0.598	-0.275	-0.235	-0.191
t5																	-0.081	-0.585	-0.194	-0.180	-0.138
t6																		-0.623	-0.187	-0.174	-0.133
t7																			0.056	-0.046	-0.021
t8																				-0.143	-0.075
t9																					0.093

그림 14. 굴참나무의 연간 생장량과 VPD의 상관계수 분포도



	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9
p1	0.5241	0.4386	0.3485	0.3253	0.3809	0.4235	0.4569	0.419	0.3712	0.3523	0.3019	0.2748	0.2003	0.153	0.2057	0.2137	0.1904	0.1787	0.2087	0.2644	0.2758
p2		0.3355	0.246	0.2615	0.3369	0.3851	0.4253	0.3764	0.3258	0.3074	0.2571	0.232	0.1537	0.1047	0.1627	0.1762	0.155	0.1444	0.1776	0.2368	0.2495
p3			0.1205	0.2045	0.3024	0.3534	0.3986	0.3335	0.2817	0.2657	0.2173	0.1971	0.1148	0.0637	0.1295	0.1486	0.128	0.1174	0.154	0.2173	0.2312
p4				0.2443	0.3535	0.4015	0.4438	0.3566	0.296	0.2765	0.2249	0.1994	0.1094	0.0536	0.1251	0.1458	0.124	0.113	0.1518	0.2184	0.2327
p5					0.4754	0.4817	0.5167	0.3628	0.2841	0.26	0.2003	0.1688	0.0622	-3E-04	0.0847	0.113	0.0927	0.0825	0.1272	0.2014	0.2172
p6						0.4463	0.5344	0.284	0.1925	0.1777	0.0986	0.0858	-0.029	-0.09	0.0104	0.0531	0.0381	0.03	0.0811	0.1611	0.1786
p7							0.584	0.1945	0.0922	0.0968	-0.001	0.0177	-0.099	-0.154	-0.043	0.0114	0.0006	-0.006	0.0491	0.1322	0.1509
p8								-0.2	-0.183	-0.096	-0.19	-0.094	-0.198	-0.241	-0.12	-0.049	-0.053	-0.057	0.0019	0.0877	0.1082
p9									-0.119	-0.014	-0.135	-0.054	-0.171	-0.216	-0.092	-0.025	-0.032	-0.037	0.0219	0.1091	0.1288
p10										0.1046	-0.132	-0.035	-0.175	-0.222	-0.084	-0.013	-0.022	-0.028	0.034	0.1267	0.1464
p11											-0.225	-0.067	-0.215	-0.256	-0.104	-0.025	-0.033	-0.039	0.0272	0.1248	0.1451
p12												0.0437	-0.187	-0.243	-0.06	0.0189	0.003	-0.006	0.0654	0.1732	0.1931
t1													-0.535	-0.473	-0.134	0.0058	-0.013	-0.025	0.0713	0.2114	0.2337
t2														-0.39	0.1583	0.1904	0.1258	0.1002	0.1941	0.337	0.3489
t3															0.6425	0.3907	0.261	0.2151	0.2999	0.4357	0.4383
t4																0.2186	0.1041	0.0685	0.1952	0.3623	0.3723
t5																	-0.069	-0.073	0.1558	0.3802	0.3932
t6																		-0.073	0.3161	0.5498	0.5428
t7																			0.5828	0.7408	0.7011
t8																				0.7416	0.661
t9																					0.3487

그림 15. 전나무의 연간 생장량과 평균기온의 상관계수 분포도

	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9
p1	0.2552	0.1262	0.2514	0.4992	0.4312	0.7825	0.565	0.6071	0.7901	0.8576	0.8044	0.7234	0.775	0.7437	0.6544	0.6506	0.72	0.4257	0.7337	0.8244	0.7081
p2		0.0935	0.2044	0.512	0.4509	0.8229	0.5929	0.6392	0.8061	0.8767	0.8472	0.757	0.8103	0.777	0.6866	0.6807	0.7523	0.4366	0.7444	0.8405	0.7187
p3			0.1193	0.6422	0.3968	0.9597	0.5385	0.4676	0.6687	0.7646	0.8686	0.8461	0.8843	0.8682	0.811	0.7452	0.7434	0.4013	0.7133	0.8135	0.6912
p4				0.6524	0.3171	0.8296	0.433	0.383	0.6095	0.6899	0.747	0.7139	0.7739	0.7557	0.651	0.6266	0.6981	0.3398	0.7185	0.7914	0.6768
p5					-0.101	0.7912	0.246	0.1392	0.4554	0.513	0.6287	0.6298	0.7346	0.7407	0.5667	0.5346	0.5023	0.1608	0.6973	0.7856	0.6573
p6						0.7625	0.4343	0.2272	0.5768	0.6281	0.8043	0.7788	0.8738	0.7876	0.6097	0.5607	0.4587	0.2336	0.7721	0.9027	0.7653
p7							-0.295	-0.391	0.1215	0.1315	0.0612	0.1405	0.4777	0.5252	0.0911	0.0617	-0.346	-0.313	0.3787	0.6532	0.4771
p8								-0.179	0.4959	0.5139	0.5045	0.4726	0.6115	0.553	0.3383	0.2818	0.0293	-0.087	0.4821	0.8188	0.6299
p9									0.8159	0.6692	0.5086	0.413	0.5346	0.5968	0.413	0.4576	0.2094	0.0369	0.5679	0.8032	0.6322
p10										-0.054	-0.14	-0.074	0.0435	0.1261	-0.074	-0.076	-0.313	-0.377	0.237	0.5987	0.4152
p11											-0.161	-0.071	0.0844	0.1657	-0.063	-0.058	-0.315	-0.329	0.2414	0.5721	0.3975
p12												0.1051	0.5187	0.4253	0.0412	0.0272	-0.31	-0.331	0.3545	0.696	0.4908
t1													0.6763	0.3908	-0.017	-0.013	-0.289	-0.323	0.3125	0.6523	0.4671
t2														0.2189	-0.265	-0.173	-0.446	-0.447	0.2514	0.6357	0.4324
t3															-0.717	-0.509	-0.588	-0.619	0.1947	0.577	0.389
t4																-0.001	-0.311	-0.38	0.3158	0.6191	0.4527
t5																	-0.396	-0.545	0.3597	0.643	0.4762
t6																		-0.17	0.6023	0.7411	0.5818
t7																			0.7309	0.8621	0.7393
t8																				0.5751	0.4535
t9																					-0.117

그림 16. 전나무의 연간 생장량과 PAR의 상관계수 분포도

	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9
p1	0.2513	-0.113	-0.394	-0.179	-0.468	-0.561	-0.067	0.2008	0.0625	0.0374	0.0379	0.0342	0.0127	0.024	0.0663	0.1162	0.3042	0.3918	0.0626	0.2227	0.1822
p2		-0.247	-0.45	-0.209	-0.484	-0.56	-0.081	0.1909	0.0549	0.03	0.0308	0.027	0.0057	0.017	0.0592	0.1086	0.2971	0.3847	0.0568	0.2158	0.1763
p3			-0.509	-0.134	-0.514	-0.552	-0.056	0.2046	0.0691	0.0441	0.0442	0.0408	0.0199	0.0308	0.0716	0.1192	0.2998	0.3843	0.0663	0.2221	0.1827
p4				0.0623	-0.502	-0.559	0.0061	0.2525	0.1054	0.0785	0.0771	0.0743	0.0525	0.0634	0.1046	0.1533	0.3305	0.4141	0.0919	0.2492	0.2067
p5					-0.513	-0.821	-0.012	0.2676	0.1045	0.0762	0.0752	0.0725	0.0485	0.0608	0.1064	0.1603	0.3526	0.4408	0.0937	0.2628	0.2159
p6						-0.175	0.2384	0.3602	0.1996	0.1687	0.1629	0.1632	0.1411	0.1508	0.1889	0.2347	0.3899	0.4654	0.1588	0.3127	0.2652
p7							0.2706	0.4191	0.2399	0.2082	0.2008	0.2024	0.1781	0.1888	0.2302	0.2818	0.441	0.5182	0.192	0.352	0.2981
p8								0.3243	0.1289	0.0889	0.0853	0.084	0.0582	0.0699	0.1151	0.1634	0.3477	0.4356	0.0938	0.272	0.2265
p9									-0.403	-0.369	-0.282	-0.322	-0.362	-0.312	-0.2	-0.092	0.3271	0.5102	-0.087	0.1985	0.1411
p10										-0.156	-0.08	-0.106	-0.192	-0.123	0.0286	0.1628	0.5418	0.7063	0.032	0.3147	0.2536
p11											0.0158	-0.018	-0.202	-0.078	0.1634	0.3497	0.7159	0.8572	0.0729	0.3613	0.2949
p12												-0.051	-0.314	-0.189	0.2801	0.4146	0.8142	0.9038	0.0769	0.3463	0.2858
t1													-0.766	-0.192	0.3322	0.4527	0.8012	0.8974	0.0868	0.3758	0.3073
t2														0.2404	0.5067	0.5467	0.8272	0.9119	0.1257	0.4028	0.3339
t3															0.6683	0.5681	0.8641	0.929	0.111	0.3867	0.3189
t4																0.418	0.8885	0.9396	0.0313	0.3383	0.2714
t5																	0.9052	0.9821	-0.072	0.2953	0.2236
t6																		0.7984	-0.543	-0.029	-0.067
t7																			-0.631	-0.178	-0.198
t8																				0.4102	0.3377
t9																					-0.18

그림 17. 전나무의 연간 생장량과 강수량의 상관관계수 분포도

	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9
p1	0.0333	-0.047	0.2559	0.2799	0.3017	0.5056	0.4188	0.3831	0.4293	0.448	0.4545	0.4489	0.4554	0.4739	0.4238	0.4107	0.3226	0.2577	0.3059	0.3581	0.338
p2		-0.132	0.3377	0.3248	0.3328	0.5403	0.4439	0.4037	0.4486	0.4667	0.4733	0.4662	0.4723	0.4907	0.4384	0.423	0.3311	0.264	0.3128	0.3657	0.3446
p3			0.4415	0.3785	0.3651	0.5697	0.4663	0.4239	0.4661	0.4831	0.49	0.4817	0.4872	0.5051	0.4512	0.4335	0.3392	0.271	0.3197	0.3725	0.3509
p4				0.2951	0.3224	0.5845	0.4644	0.4147	0.4656	0.4852	0.493	0.484	0.4907	0.5108	0.4509	0.4317	0.328	0.2542	0.3067	0.3643	0.3408
p5					0.3376	0.6581	0.4958	0.4335	0.4878	0.5086	0.5213	0.5085	0.5153	0.537	0.4672	0.4419	0.3231	0.2436	0.3007	0.3641	0.3381
p6						0.7809	0.5582	0.4668	0.5271	0.5485	0.5663	0.5461	0.5516	0.5745	0.4876	0.4515	0.3107	0.2224	0.285	0.3565	0.3269
p7							-0.068	-0.036	0.2501	0.3264	0.3498	0.3467	0.3553	0.3951	0.2839	0.2659	0.1262	0.0536	0.1284	0.2198	0.1947
p8								0.024	0.4583	0.5202	0.5305	0.4953	0.4951	0.5298	0.3809	0.3364	0.1615	0.0724	0.1539	0.2519	0.221
p9									0.6128	0.6127	0.6288	0.5687	0.5495	0.5772	0.4035	0.3487	0.1631	0.0718	0.1536	0.2534	0.2211
p10										0.5904	0.5261	0.4729	0.4504	0.5058	0.2697	0.2373	0.0437	-0.035	0.0652	0.184	0.1542
p11											0.2277	0.3294	0.3324	0.4327	0.1562	0.1565	-0.035	-0.101	0.0123	0.1438	0.1162
p12												0.3208	0.324	0.4512	0.1139	0.1297	-0.066	-0.131	-0.007	0.1331	0.1056
t1													0.2531	0.481	0.0236	0.0826	-0.119	-0.175	-0.038	0.1144	0.0872
t2														0.6986	-0.078	0.046	-0.164	-0.211	-0.061	0.1034	0.0761
t3															-0.406	-0.086	-0.252	-0.276	-0.114	0.0633	0.0399
t4																0.1528	-0.195	-0.243	-0.056	0.1384	0.1012
t5																	-0.451	-0.382	-0.124	0.1284	0.0849
t6																		-0.24	0.0957	0.3641	0.261
t7																			0.4931	0.7086	0.5077
t8																				0.807	0.4722
t9																					-0.097

그림 18. 전나무의 연간 성장량과 VPD의 상관계수 분포도



	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9
p1	-0.604	-0.789	-0.833	-0.896	-0.915	-0.928	-0.923	-0.977	-0.982	-0.981	-0.947	-0.908	-0.859	-0.796	-0.767	-0.74	-0.73	-0.726	-0.747	-0.778	-0.753
p2		-0.856	-0.864	-0.934	-0.952	-0.964	-0.957	-0.986	-0.98	-0.974	-0.949	-0.882	-0.822	-0.752	-0.723	-0.7	-0.691	-0.687	-0.708	-0.745	-0.72
p3			-0.86	-0.924	-0.93	-0.948	-0.945	-0.92	-0.944	-0.944	-0.952	-0.851	-0.784	-0.704	-0.675	-0.658	-0.65	-0.643	-0.668	-0.711	-0.683
p4				-0.869	-0.854	-0.856	-0.869	-0.695	-0.815	-0.829	-0.908	-0.774	-0.71	-0.626	-0.595	-0.59	-0.585	-0.575	-0.602	-0.645	-0.617
p5					-0.64	0.0241	-0.203	0.1354	-0.227	-0.312	-0.622	-0.572	-0.515	-0.437	-0.409	-0.434	-0.437	-0.424	-0.453	-0.492	-0.467
p6						0.6021	0.3156	0.3415	-0.064	-0.173	-0.532	-0.529	-0.474	-0.398	-0.371	-0.401	-0.407	-0.392	-0.422	-0.459	-0.435
p7							-0.247	0.1824	-0.306	-0.391	-0.671	-0.598	-0.534	-0.451	-0.419	-0.441	-0.444	-0.431	-0.461	-0.5	-0.474
p8								0.285	-0.202	-0.312	-0.589	-0.564	-0.504	-0.424	-0.398	-0.425	-0.428	-0.413	-0.444	-0.481	-0.455
p9									-0.797	-0.773	-0.722	-0.66	-0.584	-0.491	-0.458	-0.473	-0.473	-0.46	-0.492	-0.531	-0.501
p10										-0.646	-0.651	-0.626	-0.549	-0.449	-0.415	-0.439	-0.442	-0.426	-0.461	-0.5	-0.468
p11											-0.586	-0.612	-0.533	-0.43	-0.398	-0.427	-0.43	-0.413	-0.45	-0.489	-0.456
p12												-0.506	-0.431	-0.325	-0.289	-0.347	-0.358	-0.338	-0.378	-0.424	-0.392
t1													-0.118	-0.053	-0.038	-0.204	-0.236	-0.2	-0.261	-0.319	-0.274
t2														0.0344	0.0362	-0.219	-0.262	-0.216	-0.299	-0.358	-0.298
t3															0.0135	-0.32	-0.373	-0.332	-0.434	-0.47	-0.401
t4																-0.499	-0.514	-0.452	-0.608	-0.63	-0.505
t5																	-0.395	-0.041	-0.431	-0.215	-0.165
t6																		0.3857	-0.073	-0.032	-0.009
t7																			-0.458	-0.192	-0.187
t8																				-0.011	0.0181
t9																					0.0543

그림 19. 졸참나무의 연간 생장량과 평균기온의 상관계수 분포도

	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9
p1	-0.494	0.1519	-0.079	-0.219	-0.664	-0.351	-0.683	-0.847	-0.792	-0.746	-0.779	-0.764	-0.805	-0.816	-0.866	-0.909	-0.967	-0.991	-0.873	-0.84	-0.859
p2		0.5317	0.2504	-0.073	-0.667	-0.296	-0.681	-0.876	-0.794	-0.732	-0.783	-0.766	-0.813	-0.836	-0.886	-0.931	-0.96	-0.996	-0.868	-0.834	-0.852
p3			-0.283	-0.487	-0.873	-0.552	-0.812	-0.927	-0.845	-0.784	-0.852	-0.843	-0.87	-0.9	-0.933	-0.96	-0.937	-0.987	-0.885	-0.857	-0.873
p4				-0.389	-0.807	-0.458	-0.707	-0.888	-0.839	-0.783	-0.844	-0.823	-0.866	-0.891	-0.904	-0.948	-0.971	-0.988	-0.923	-0.881	-0.893
p5					-0.779	-0.417	-0.682	-0.851	-0.82	-0.742	-0.833	-0.819	-0.871	-0.914	-0.9	-0.945	-0.923	-0.965	-0.926	-0.884	-0.899
p6						0.28	-0.551	-0.755	-0.749	-0.632	-0.766	-0.76	-0.83	-0.856	-0.89	-0.927	-0.889	-0.968	-0.876	-0.849	-0.871
p7							-0.665	-0.82	-0.884	-0.771	-0.88	-0.872	-0.936	-0.993	-0.936	-0.96	-0.844	-0.915	-0.879	-0.886	-0.877
p8								-0.348	-0.621	-0.386	-0.421	-0.501	-0.682	-0.709	-0.867	-0.828	-0.641	-0.844	-0.688	-0.749	-0.764
p9									-0.411	-0.104	0.0047	-0.032	-0.386	-0.578	-0.772	-0.971	-0.693	-0.915	-0.632	-0.653	-0.677
p10										0.6533	0.6503	0.5496	-0.017	-0.297	-0.308	-0.614	-0.415	-0.695	-0.565	-0.679	-0.666
p11											0.1945	0.1238	-0.415	-0.465	-0.497	-0.656	-0.567	-0.743	-0.646	-0.764	-0.729
p12												-0.186	-0.905	-0.745	-0.788	-0.826	-0.652	-0.834	-0.733	-0.801	-0.789
t1													-0.892	-0.692	-0.728	-0.765	-0.589	-0.8	-0.717	-0.801	-0.791
t2														-0.375	-0.291	-0.583	-0.4	-0.7	-0.637	-0.747	-0.737
t3															0.0189	-0.521	-0.263	-0.635	-0.549	-0.624	-0.651
t4																-0.713	-0.312	-0.746	-0.499	-0.57	-0.613
t5																	-0.011	-0.648	-0.357	-0.418	-0.496
t6																		-0.766	-0.402	-0.421	-0.514
t7																			-0.011	-0.094	-0.251
t8																				-0.18	-0.567
t9																					-0.475

그림 20. 졸참나무의 연간 생장량과 PAR의 상관계수 분포도

	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9
p1	0.4027	-0.298	-0.135	0.2254	-0.107	-0.167	0.2456	0.5898	0.7423	0.707	0.7823	0.7118	0.7183	0.7346	0.734	0.6879	0.646	0.6513	0.5734	0.3522	0.4217
p2		-0.53	-0.252	0.1569	-0.142	-0.205	0.2268	0.5673	0.7244	0.6854	0.7621	0.6908	0.6976	0.7136	0.7122	0.6636	0.6265	0.6347	0.5559	0.3374	0.408
p3			0.1324	0.3512	-0.048	-0.097	0.3104	0.6069	0.7476	0.7098	0.7807	0.7165	0.722	0.7363	0.7323	0.6813	0.6382	0.6478	0.5713	0.3621	0.4287
p4				0.4242	-0.093	-0.161	0.3147	0.6123	0.7568	0.7237	0.798	0.7357	0.741	0.7565	0.7507	0.6938	0.639	0.6449	0.5817	0.3679	0.4359
p5					-0.352	-0.427	0.1991	0.56	0.7298	0.7036	0.7985	0.7336	0.7393	0.762	0.7581	0.6903	0.6284	0.6246	0.5895	0.3499	0.4263
p6						-0.074	0.4654	0.617	0.7638	0.7409	0.8109	0.7702	0.7751	0.7874	0.7683	0.6907	0.6108	0.6138	0.5986	0.4027	0.4691
p7							0.3794	0.6037	0.7621	0.7487	0.8187	0.7688	0.7769	0.7913	0.775	0.7074	0.6198	0.6147	0.6106	0.4034	0.4686
p8								0.4599	0.6689	0.5895	0.6504	0.6107	0.6165	0.6127	0.5828	0.4879	0.4453	0.4828	0.4232	0.2521	0.3414
p9									0.8532	0.58	0.6471	0.5441	0.5548	0.5281	0.5075	0.3698	0.3566	0.453	0.2904	0.031	0.1895
p10										-0.45	0.0049	-0.236	-0.153	-0.128	-0.151	-0.295	-0.093	-0.023	0.0042	-0.252	-0.062
p11											0.4647	0.0854	0.2291	0.1795	0.1047	-0.141	0.0275	0.0947	0.0987	-0.196	0.0088
p12												-0.519	-0.372	-0.409	-0.426	-0.505	-0.108	-0.025	0.0036	-0.281	-0.069
t1													0.5586	0.2988	0.086	-0.213	0.0066	0.0747	0.0942	-0.231	-0.005
t2														0.0167	-0.076	-0.293	-0.029	0.0409	0.0645	-0.256	-0.028
t3															-0.136	-0.337	-0.033	0.0398	0.0669	-0.258	-0.029
t4																-0.42	-0.015	0.0632	0.0908	-0.25	-0.017
t5																	0.1428	0.195	0.2043	-0.175	0.0542
t6																		0.1961	0.1048	-0.226	-0.009
t7																			0.0227	-0.245	-0.05
t8																				-0.448	-0.119
t9																					0.829

그림 21. 졸참나무의 연간 생장량과 강수량의 상관계수 분포도

	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9
p1	-0.734	-0.673	-0.93	-0.93	-0.91	-0.787	-0.85	-0.893	-0.862	-0.853	-0.884	-0.888	-0.893	-0.886	-0.903	-0.899	-0.89	-0.931	-0.911	-0.898	-0.898
p2		-0.492	-0.928	-0.945	-0.919	-0.774	-0.846	-0.89	-0.855	-0.846	-0.88	-0.884	-0.888	-0.88	-0.897	-0.892	-0.881	-0.925	-0.904	-0.891	-0.892
p3			-0.77	-0.922	-0.906	-0.75	-0.828	-0.877	-0.838	-0.83	-0.866	-0.871	-0.874	-0.865	-0.883	-0.878	-0.866	-0.915	-0.893	-0.88	-0.881
p4				-0.921	-0.889	-0.7	-0.819	-0.879	-0.841	-0.832	-0.872	-0.877	-0.882	-0.873	-0.892	-0.886	-0.871	-0.92	-0.897	-0.884	-0.883
p5					-0.82	-0.517	-0.752	-0.847	-0.798	-0.788	-0.843	-0.85	-0.854	-0.842	-0.864	-0.855	-0.833	-0.896	-0.868	-0.857	-0.857
p6						-0.142	-0.662	-0.818	-0.759	-0.749	-0.816	-0.828	-0.828	-0.811	-0.839	-0.825	-0.798	-0.876	-0.84	-0.832	-0.83
p7							-0.825	-0.961	-0.848	-0.823	-0.884	-0.882	-0.873	-0.859	-0.854	-0.829	-0.771	-0.847	-0.814	-0.818	-0.808
p8								-0.846	-0.802	-0.781	-0.879	-0.88	-0.863	-0.836	-0.842	-0.808	-0.74	-0.836	-0.796	-0.805	-0.794
p9									-0.523	-0.529	-0.69	-0.743	-0.738	-0.716	-0.734	-0.718	-0.653	-0.783	-0.735	-0.749	-0.737
p10										-0.493	-0.702	-0.876	-0.832	-0.798	-0.781	-0.742	-0.633	-0.776	-0.727	-0.758	-0.734
p11											-0.572	-0.942	-0.867	-0.823	-0.785	-0.74	-0.613	-0.763	-0.721	-0.762	-0.736
p12												-0.789	-0.741	-0.657	-0.675	-0.661	-0.547	-0.729	-0.691	-0.733	-0.715
t1													-0.481	-0.421	-0.569	-0.599	-0.491	-0.705	-0.662	-0.714	-0.692
t2														-0.278	-0.56	-0.612	-0.478	-0.707	-0.668	-0.723	-0.698
t3															-0.46	-0.607	-0.461	-0.693	-0.66	-0.723	-0.693
t4																-0.621	-0.449	-0.737	-0.686	-0.746	-0.71
t5																	-0.286	-0.707	-0.681	-0.768	-0.709
t6																		-0.889	-0.823	-0.833	-0.756
t7																			-0.139	-0.367	-0.429
t8																				-0.519	-0.612
t9																					-0.355

그림 22. 졸참나무의 연간 생장량과 VPD의 상관계수 분포도



	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9
p1	0.3933	0.2568	0.1979	0.2724	0.285	0.2517	0.3288	0.2712	0.2134	0.2149	0.0749	0.0139	-0.126	-0.222	-0.185	-0.164	-0.191	-0.219	-0.182	-0.12	-0.157
p2		0.1054	0.0887	0.2211	0.2381	0.1898	0.2882	0.1975	0.1369	0.1418	-1E-04	-0.048	-0.191	-0.286	-0.244	-0.214	-0.241	-0.27	-0.232	-0.171	-0.208
p3			0.0581	0.257	0.2684	0.2	0.3381	0.194	0.1163	0.1251	-0.047	-0.087	-0.245	-0.347	-0.298	-0.257	-0.284	-0.318	-0.276	-0.212	-0.252
p4				0.3749	0.3616	0.2709	0.4812	0.2302	0.1265	0.1378	-0.082	-0.11	-0.284	-0.39	-0.333	-0.283	-0.31	-0.347	-0.303	-0.237	-0.278
p5					0.2451	-0.334	0.439	-0.146	-0.202	-0.15	-0.347	-0.238	-0.399	-0.486	-0.418	-0.354	-0.378	-0.416	-0.373	-0.315	-0.352
p6						-0.571	0.2447	-0.228	-0.281	-0.216	-0.402	-0.264	-0.42	-0.501	-0.43	-0.364	-0.388	-0.426	-0.384	-0.327	-0.364
p7							0.8231	-0.039	-0.132	-0.074	-0.302	-0.215	-0.384	-0.474	-0.403	-0.34	-0.365	-0.403	-0.36	-0.299	-0.338
p8								-0.419	-0.433	-0.337	-0.446	-0.29	-0.443	-0.521	-0.452	-0.382	-0.404	-0.442	-0.401	-0.344	-0.379
p9									-0.182	-0.075	-0.276	-0.216	-0.391	-0.48	-0.409	-0.343	-0.367	-0.406	-0.364	-0.299	-0.337
p10										0.1676	-0.296	-0.218	-0.416	-0.507	-0.427	-0.353	-0.379	-0.42	-0.376	-0.307	-0.346
p11											-0.354	-0.246	-0.449	-0.535	-0.452	-0.371	-0.396	-0.439	-0.395	-0.325	-0.364
p12												-0.129	-0.429	-0.539	-0.43	-0.341	-0.375	-0.427	-0.372	-0.292	-0.343
t1													-0.773	-0.788	-0.591	-0.424	-0.468	-0.546	-0.479	-0.379	-0.444
t2														-0.761	-0.358	-0.214	-0.299	-0.397	-0.292	-0.079	-0.207
t3															0.2842	0.1013	-0.053	-0.165	-0.004	0.3175	0.1112
t4																-0.023	-0.212	-0.376	-0.166	0.2567	0.0024
t5																	-0.623	-0.723	-0.39	0.3472	0.0264
t6																		-0.475	0.2815	0.5857	0.2989
t7																			0.7349	0.8367	0.5804
t8																				0.6269	0.2391
t9																					-0.669

그림 23. 서어나무의 연간 생장량과 평균기온의 상관계수 분포도

	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9
p1	0.8056	0.7094	0.8771	0.9487	0.8634	0.9746	0.7225	0.6052	0.6589	0.6409	0.725	0.7373	0.7134	0.7298	0.6221	0.5649	0.36	0.3477	0.5526	0.6108	0.5665
p2		0.482	0.6097	0.9046	0.8097	0.9713	0.6641	0.534	0.6012	0.5676	0.6654	0.6819	0.6637	0.6953	0.5665	0.5089	0.2681	0.2745	0.4988	0.5647	0.521
p3			0.062	0.6427	0.465	0.8272	0.4902	0.3341	0.4459	0.4034	0.4794	0.5072	0.5069	0.5509	0.4141	0.37	0.1391	0.1672	0.3908	0.4644	0.4308
p4				0.917	0.4882	0.8799	0.4625	0.3332	0.465	0.4262	0.5055	0.5281	0.5322	0.5736	0.4175	0.3766	0.1395	0.1646	0.4189	0.4922	0.4522
p5					0.0301	0.7026	0.2594	0.1054	0.3032	0.2443	0.313	0.3505	0.3803	0.4416	0.2553	0.2264	-0.031	0.027	0.3097	0.3993	0.3661
p6						0.6833	0.3954	0.1353	0.392	0.3146	0.4557	0.5106	0.5146	0.5683	0.342	0.2836	-0.051	0.0246	0.3554	0.4626	0.4185
p7							-0.117	-0.294	0.0532	-0.042	-0.027	0.0424	0.1347	0.2281	-0.012	-0.013	-0.281	-0.176	0.1365	0.2635	0.2328
p8								-0.293	0.2183	0.0712	0.1507	0.2971	0.3647	0.4421	0.1275	0.082	-0.284	-0.17	0.2097	0.3693	0.3209
p9									0.576	0.3427	0.5017	0.545	0.6637	0.8532	0.5669	0.4247	-0.208	-0.062	0.3418	0.4842	0.4153
p10										-0.409	-0.225	-0.056	0.286	0.4743	-0.199	-0.141	-0.604	-0.363	0.1568	0.383	0.298
p11											0.0622	0.2052	0.4538	0.4807	0.0545	0.0345	-0.441	-0.234	0.2196	0.4388	0.3432
p12												0.5447	0.6178	0.5743	0.0188	0.0059	-0.472	-0.264	0.2152	0.4151	0.339
t1													0.424	0.4442	-0.115	-0.077	-0.507	-0.308	0.1714	0.3796	0.3099
t2														0.3635	-0.435	-0.284	-0.699	-0.449	0.1088	0.354	0.2765
t3															-0.766	-0.643	-0.804	-0.586	0.0158	0.2464	0.1981
t4																-0.013	-0.571	-0.371	0.2172	0.4224	0.3492
t5																	-0.685	-0.491	0.241	0.4427	0.3677
t6																		0.1995	0.6786	0.7876	0.6694
t7																			0.5545	0.6876	0.6293
t8																				0.4658	0.4684
t9																					0.0059

그림 24. 서어나무의 연간 생장량과 PAR의 상관계수 분포도

	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9
p1	-0.31	-0.294	-0.439	-0.307	-0.476	-0.672	-0.166	0.2954	0.09	0.0465	-0.008	0.0124	-0.008	-0.018	0.0386	0.1491	0.4076	0.4817	0.118	0.2245	0.1922
p2		-0.195	-0.351	-0.251	-0.446	-0.622	-0.151	0.3069	0.1008	0.0578	0.0036	0.0239	0.0037	-0.006	0.05	0.1593	0.4143	0.489	0.1252	0.2292	0.1969
p3			-0.384	-0.193	-0.474	-0.653	-0.138	0.3197	0.1133	0.0718	0.0189	0.0388	0.0187	0.0095	0.064	0.169	0.4112	0.4848	0.133	0.2372	0.2041
p4				-0.088	-0.485	-0.699	-0.098	0.3645	0.1447	0.1044	0.0497	0.0705	0.0489	0.0399	0.0967	0.2052	0.4435	0.5138	0.159	0.2657	0.2284
p5					-0.465	-0.629	-0.074	0.4048	0.1681	0.1286	0.0708	0.0941	0.0698	0.0608	0.1246	0.2446	0.4965	0.5603	0.1888	0.3011	0.2569
p6						-0.191	0.1808	0.5128	0.276	0.2468	0.1918	0.2182	0.1934	0.1862	0.2401	0.3377	0.5244	0.5824	0.2633	0.3783	0.3267
p7							0.1956	0.5273	0.3028	0.2793	0.2246	0.2487	0.2247	0.2187	0.2724	0.3736	0.5507	0.5998	0.2897	0.3942	0.3419
p8								0.5199	0.2351	0.1828	0.1178	0.1469	0.1203	0.1085	0.1645	0.2605	0.4669	0.5592	0.1941	0.3228	0.2809
p9									-0.48	-0.583	-0.6	-0.6	-0.606	-0.596	-0.475	-0.239	0.3305	0.5402	-0.093	0.0894	0.0662
p10										-0.29	-0.408	-0.312	-0.382	-0.36	-0.167	0.1294	0.5747	0.7728	0.0737	0.2483	0.2158
p11											-0.334	-0.228	-0.369	-0.331	-0.036	0.3576	0.681	0.8118	0.1443	0.331	0.2842
p12												0.17	0.0022	-0.097	0.3784	0.6712	0.8424	0.9295	0.2391	0.3917	0.3431
t1													-0.544	-0.411	0.2007	0.5469	0.767	0.8617	0.2124	0.4062	0.3475
t2														-0.15	0.3492	0.6167	0.7847	0.87	0.2435	0.4297	0.3711
t3															0.6865	0.744	0.8399	0.8994	0.2742	0.4432	0.3826
t4																0.7135	0.8581	0.902	0.2035	0.3827	0.3257
t5																	0.8036	0.8274	0.0292	0.2538	0.2068
t6																		0.4934	-0.497	-0.138	-0.141
t7																			-0.515	-0.238	-0.234
t8																				0.3168	0.2785
t9																					-0.063

그림 25. 서어나무의 연간 생장량과 강수량의 상관계수 분포도

	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9
p1	0.4395	0.3488	0.4652	0.472	0.423	0.6609	0.5414	0.5022	0.4842	0.4886	0.4934	0.4608	0.4497	0.4573	0.38	0.3397	0.1894	0.1718	0.1924	0.238	0.213
p2		0.1869	0.4345	0.4665	0.4144	0.6707	0.542	0.499	0.479	0.4838	0.4897	0.4556	0.4436	0.4511	0.3712	0.3295	0.1752	0.1587	0.1801	0.2276	0.2025
p3			0.3712	0.46	0.4077	0.6672	0.5373	0.495	0.4725	0.4775	0.4849	0.4505	0.4381	0.4455	0.3653	0.3233	0.1686	0.1531	0.1747	0.2226	0.1977
p4				0.4701	0.3895	0.7184	0.5604	0.5083	0.484	0.4892	0.4966	0.4576	0.4442	0.4528	0.3628	0.3169	0.1471	0.132	0.1562	0.2093	0.1827
p5					0.2909	0.7776	0.574	0.5089	0.4725	0.4785	0.491	0.4452	0.4289	0.4377	0.3352	0.2848	0.0984	0.0877	0.1158	0.1763	0.1489
p6						0.8822	0.6796	0.5707	0.5017	0.5044	0.5195	0.4635	0.4408	0.4482	0.3304	0.272	0.0666	0.0587	0.0902	0.1577	0.1287
p7							0.046	0.1073	0.202	0.239	0.2573	0.2201	0.2062	0.2269	0.1049	0.0744	-0.112	-0.101	-0.059	0.0201	-0.002
p8								0.1563	0.2913	0.3341	0.3582	0.2904	0.2636	0.2857	0.1223	0.0802	-0.144	-0.128	-0.077	0.0155	-0.009
p9									0.2926	0.3309	0.375	0.2952	0.2626	0.2896	0.0967	0.0546	-0.186	-0.165	-0.106	-0.004	-0.029
p10										0.3987	0.3673	0.2449	0.1928	0.2524	-0.045	-0.06	-0.325	-0.275	-0.196	-0.072	-0.093
p11											0.1704	0.0892	0.0616	0.1571	-0.174	-0.146	-0.401	-0.333	-0.247	-0.114	-0.131
p12												-0.052	-0.039	0.0922	-0.259	-0.196	-0.44	-0.371	-0.279	-0.136	-0.153
t1													-0.011	0.1881	-0.337	-0.224	-0.485	-0.404	-0.297	-0.142	-0.159
t2														0.4008	-0.468	-0.269	-0.531	-0.432	-0.319	-0.152	-0.168
t3															-0.643	-0.371	-0.584	-0.47	-0.355	-0.183	-0.194
t4																-0.089	-0.549	-0.417	-0.282	-0.086	-0.114
t5																	-0.763	-0.508	-0.339	-0.083	-0.117
t6																		-0.005	0.1661	0.41	0.2465
t7																			0.249	0.5094	0.3054
t8																				0.6549	0.3175
t9																					-0.185

그림 26. 서어나му의 연간 생장량과 VPD의 상관계수 분포도



	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	
p1		-0.152	-0.403	-0.431	-0.441	-0.464	-0.505	-0.487	-0.63	-0.691	-0.717	-0.726	-0.885	-0.88	-0.865	-0.868	-0.864	-0.862	-0.86	-0.876	-0.875	-0.862
p2			-0.575	-0.522	-0.504	-0.528	-0.581	-0.557	-0.718	-0.771	-0.793	-0.797	-0.931	-0.91	-0.885	-0.887	-0.88	-0.877	-0.875	-0.892	-0.9	-0.885
p3				-0.457	-0.444	-0.471	-0.541	-0.513	-0.696	-0.786	-0.819	-0.844	-0.967	-0.937	-0.903	-0.906	-0.896	-0.892	-0.89	-0.909	-0.923	-0.905
p4					-0.385	-0.419	-0.514	-0.479	-0.658	-0.821	-0.864	-0.916	-0.99	-0.957	-0.912	-0.91	-0.899	-0.894	-0.89	-0.912	-0.93	-0.909
p5						-0.475	-0.431	-0.401	-0.382	-0.713	-0.78	-0.943	-0.96	-0.904	-0.841	-0.833	-0.834	-0.833	-0.827	-0.853	-0.877	-0.853
p6							-0.026	-0.019	-0.244	-0.623	-0.703	-0.894	-0.939	-0.877	-0.813	-0.803	-0.808	-0.809	-0.803	-0.83	-0.852	-0.829
p7								0.0043	-0.328	-0.762	-0.815	-0.92	-0.957	-0.897	-0.832	-0.821	-0.821	-0.821	-0.816	-0.843	-0.863	-0.84
p8									-0.307	-0.735	-0.816	-0.873	-0.94	-0.88	-0.817	-0.811	-0.816	-0.815	-0.807	-0.835	-0.856	-0.83
p9										-0.909	-0.921	-0.76	-0.929	-0.873	-0.81	-0.803	-0.805	-0.803	-0.796	-0.826	-0.84	-0.813
p10											-0.861	-0.659	-0.918	-0.86	-0.788	-0.781	-0.787	-0.787	-0.777	-0.811	-0.824	-0.795
p11												-0.553	-0.905	-0.845	-0.772	-0.768	-0.778	-0.777	-0.766	-0.802	-0.815	-0.784
p12													-0.945	-0.861	-0.766	-0.748	-0.764	-0.77	-0.761	-0.799	-0.826	-0.794
t1														-0.351	-0.367	-0.411	-0.553	-0.585	-0.561	-0.625	-0.65	-0.607
t2															-0.357	-0.396	-0.58	-0.625	-0.601	-0.684	-0.67	-0.616
t3																-0.308	-0.613	-0.688	-0.682	-0.767	-0.653	-0.623
t4																	-0.746	-0.785	-0.745	-0.887	-0.687	-0.627
t5																		-0.643	-0.202	-0.585	-0.002	-0.078
t6																			0.4056	0.041	0.2701	0.1942
t7																				-0.377	0.1329	0.0498
t8																					0.3254	0.21
t9																						-0.184

그림 27. 까치박달의 연간 생장량과 평균기온의 상관계수 분포도

	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	
p1		-0.208	0.4394	-0.1	-0.047	-0.235	-0.112	-0.202	-0.57	-0.525	-0.5	-0.449	-0.398	-0.477	-0.516	-0.519	-0.628	-0.79	-0.722	-0.641	-0.562	-0.543
p2			0.7502	0.0151	0.0294	-0.223	-0.081	-0.189	-0.615	-0.544	-0.51	-0.466	-0.408	-0.495	-0.544	-0.544	-0.661	-0.812	-0.743	-0.653	-0.57	-0.548
p3				-0.666	-0.535	-0.591	-0.416	-0.406	-0.758	-0.663	-0.632	-0.62	-0.567	-0.625	-0.671	-0.667	-0.755	-0.85	-0.796	-0.717	-0.639	-0.613
p4					0.0316	-0.236	-0.104	-0.183	-0.581	-0.542	-0.511	-0.468	-0.41	-0.498	-0.55	-0.527	-0.643	-0.784	-0.711	-0.668	-0.581	-0.556
p5						-0.322	-0.163	-0.213	-0.637	-0.591	-0.549	-0.53	-0.467	-0.56	-0.624	-0.581	-0.698	-0.81	-0.743	-0.718	-0.623	-0.594
p6							0.1245	-0.118	-0.729	-0.647	-0.587	-0.599	-0.508	-0.621	-0.68	-0.661	-0.785	-0.917	-0.83	-0.756	-0.654	-0.619
p7								-0.186	-0.704	-0.706	-0.647	-0.626	-0.544	-0.656	-0.741	-0.656	-0.769	-0.814	-0.751	-0.727	-0.659	-0.606
p8									-0.831	-0.895	-0.752	-0.786	-0.732	-0.83	-0.851	-0.969	-0.966	-0.923	-0.902	-0.739	-0.701	-0.638
p9										-0.249	-0.064	0.2277	0.2933	-0.08	-0.296	-0.282	-0.706	-0.763	-0.726	-0.508	-0.435	-0.404
p10											0.395	0.6982	0.7808	0.3191	-0.104	0.0357	-0.5	-0.597	-0.592	-0.489	-0.464	-0.397
p11												0.4251	0.5141	-0.019	-0.234	-0.157	-0.489	-0.662	-0.6	-0.529	-0.512	-0.435
p12													0.4818	-0.604	-0.618	-0.541	-0.76	-0.841	-0.754	-0.668	-0.613	-0.535
t1														-0.865	-0.715	-0.644	-0.8	-0.842	-0.781	-0.705	-0.663	-0.576
t2															-0.429	-0.201	-0.637	-0.693	-0.683	-0.629	-0.589	-0.501
t3																0.1517	-0.565	-0.534	-0.607	-0.532	-0.465	-0.412
t4																	-0.918	-0.687	-0.767	-0.518	-0.461	-0.418
t5																		-0.36	-0.576	-0.325	-0.254	-0.251
t6																			-0.277	-0.16	-0.083	-0.113
t7																				-0.018	0.0344	-0.014
t8																					0.1058	-3E-04
t9																						-0.129

그림 28. 까치박달의 연간 생장량과 PAR의 상관계수 분포도

	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	
p1		-0.025	-0.717	-0.642	-0.304	-0.554	-0.437	-0.195	0.4937	0.6468	0.6279	0.6377	0.5536	0.5686	0.5704	0.5848	0.6244	0.6096	0.6089	0.4544	0.2547	0.3095
p2			-0.814	-0.639	-0.293	-0.549	-0.422	-0.196	0.4909	0.6448	0.6232	0.6347	0.55	0.5649	0.5667	0.5805	0.6175	0.6048	0.6063	0.45	0.2518	0.3066
p3				-0.217	-0.018	-0.456	-0.27	-0.108	0.5587	0.6915	0.6719	0.6797	0.6014	0.6144	0.6158	0.6274	0.6598	0.6373	0.6396	0.4847	0.2925	0.3419
p4					0.0759	-0.506	-0.272	-0.088	0.595	0.7253	0.7118	0.7208	0.6432	0.6559	0.6583	0.6691	0.6994	0.6618	0.6591	0.5123	0.3142	0.3627
p5						-0.585	-0.314	-0.109	0.6148	0.7551	0.754	0.7778	0.6961	0.7086	0.7177	0.7327	0.7624	0.7082	0.691	0.5596	0.3339	0.3848
p6							0.4463	0.2073	0.7405	0.8479	0.8518	0.8569	0.8022	0.8119	0.8133	0.8111	0.8166	0.7306	0.7208	0.6192	0.4333	0.47
p7								0.0266	0.6188	0.758	0.7651	0.7713	0.7057	0.7202	0.7223	0.7234	0.7407	0.6634	0.6489	0.5621	0.3682	0.4116
p8									0.7866	0.9048	0.8506	0.8321	0.7842	0.7911	0.7734	0.757	0.7382	0.6676	0.6984	0.5281	0.3696	0.4198
p9										0.7962	0.588	0.5022	0.3484	0.3859	0.3427	0.3591	0.415	0.4229	0.5076	0.2071	-0.036	0.0929
p10											-0.321	-0.17	-0.462	-0.353	-0.336	-0.293	-0.194	0.0021	0.0597	-0.065	-0.299	-0.146
p11												0.0646	-0.458	-0.281	-0.266	-0.201	-0.078	0.0911	0.1402	-0.007	-0.273	-0.104
p12													-0.643	-0.456	-0.619	-0.457	-0.14	0.0802	0.1281	-0.022	-0.284	-0.116
t1														0.7063	0.2191	0.1746	0.1931	0.2125	0.2454	0.0897	-0.216	-0.038
t2															-0.156	-0.032	0.0809	0.1627	0.1987	0.052	-0.248	-0.068
t3																0.075	0.139	0.1888	0.2178	0.0712	-0.236	-0.056
t4																	0.1626	0.2063	0.2312	0.0668	-0.249	-0.064
t5																		0.1966	0.218	0.0281	-0.287	-0.093
t6																			0.1559	-0.101	-0.353	-0.17
t7																				-0.121	-0.347	-0.186
t8																					-0.421	-0.165
t9																						0.6351

그림 29. 까치박달의 연간 생장량과 강수량의 상관계수 분포도

	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9
p1	-0.183	-0.081	-0.621	-0.586	-0.589	-0.537	-0.591	-0.673	-0.685	-0.666	-0.661	-0.684	-0.702	-0.713	-0.729	-0.754	-0.784	-0.79	-0.763	-0.746	-0.714
p2		0.0599	-0.759	-0.654	-0.637	-0.563	-0.617	-0.699	-0.706	-0.684	-0.68	-0.702	-0.72	-0.73	-0.746	-0.768	-0.796	-0.802	-0.774	-0.755	-0.723
p3			-0.808	-0.715	-0.677	-0.585	-0.635	-0.717	-0.716	-0.693	-0.691	-0.712	-0.728	-0.738	-0.753	-0.774	-0.801	-0.809	-0.779	-0.76	-0.727
p4				-0.54	-0.565	-0.484	-0.577	-0.684	-0.695	-0.671	-0.668	-0.694	-0.714	-0.725	-0.743	-0.767	-0.795	-0.803	-0.771	-0.752	-0.715
p5					-0.568	-0.407	-0.571	-0.712	-0.709	-0.678	-0.679	-0.707	-0.728	-0.739	-0.757	-0.779	-0.8	-0.813	-0.775	-0.755	-0.715
p6						-0.168	-0.53	-0.735	-0.717	-0.677	-0.679	-0.714	-0.733	-0.742	-0.764	-0.781	-0.799	-0.818	-0.77	-0.75	-0.705
p7							-0.602	-0.835	-0.787	-0.729	-0.717	-0.744	-0.759	-0.774	-0.767	-0.777	-0.767	-0.784	-0.739	-0.731	-0.679
p8								-0.889	-0.853	-0.763	-0.747	-0.785	-0.796	-0.807	-0.803	-0.804	-0.784	-0.806	-0.75	-0.742	-0.681
p9									-0.564	-0.485	-0.504	-0.608	-0.642	-0.667	-0.676	-0.703	-0.694	-0.743	-0.679	-0.675	-0.613
p10										-0.23	-0.21	-0.552	-0.618	-0.678	-0.666	-0.702	-0.671	-0.718	-0.651	-0.663	-0.584
p11											-0.095	-0.648	-0.71	-0.781	-0.727	-0.748	-0.688	-0.731	-0.667	-0.684	-0.598
p12												-0.869	-0.871	-0.866	-0.785	-0.779	-0.696	-0.755	-0.689	-0.703	-0.616
t1													-0.643	-0.691	-0.684	-0.721	-0.645	-0.723	-0.65	-0.672	-0.579
t2														-0.632	-0.638	-0.72	-0.626	-0.709	-0.64	-0.665	-0.566
t3															-0.398	-0.656	-0.578	-0.667	-0.607	-0.64	-0.539
t4																-0.751	-0.622	-0.721	-0.636	-0.662	-0.546
t5																	-0.463	-0.634	-0.568	-0.618	-0.476
t6																		-0.562	-0.478	-0.512	-0.367
t7																			-0.026	-0.215	-0.135
t8																				-0.366	-0.207
t9																					0.0623

그림 30. 까치박달의 연간 생장량과 VPD의 상관계수 분포도



## IV. 고찰

### 1. 수종별 연간 직경생장의 변화의 차이

선행연구에 따르면, 참나무속 수종들이 생장이 발생한 기후에만 영향을 받는 것이 아니라 그 이전의 환경조건이 그 이후의 성장에도 영향을 미치기도 하는데, 특히, 심한 기후적 사건이 발생하면 그 이후에 지속해서 영향을 미친다고 한다(Friedrichs et al. 2009a; Rozas 2001; Weber et al. 2007). Friedrichs의 연구에 따르면, 독일 중서부 지역에 분포해 있는 *Q. robur*의 연간성장량은 생장이 일어난 전년도 강수량과 양의 상관관계를 보였다(Friedrichs et al. 2008). 또한, 알바니아 지역의 터키 참나무(*Q. cerris* L.)의 경우에도 수목의 성장량과 생장의 일어난 전년도의 온도 및 강수량과 상관관계를 가지는 것으로 보고되었다.(Stafasani and Toromani 2015). 우리나라 중부지방에는 2014년과 2015년에 심한 가뭄이 발생하였는데 이러한 극심한 기후가 이후 참나무속 수종의 직경성장량에 영향을 준 것으로 보인다.

하지만 또 다른 같은 속인 서어나무와 까치박달은 연간 성장 변화에 있어 약간의 차이를 보였다. 까치박달은 2018년 성장량이 증가하기 전, 2017년까지 계속해서 감소하였으나, 서어나무는 큰 변화를 보이지 않거나 약간 증가하였다. 이러한 성장 변화는 전나무에서 나타났다. 같은 속이라 하더라도 서어나무는 임관 중 상층부에 분포하고 있지만, 까치박달은 하층부에 분포하고 있어, 광량과 같은 에너지원 획득량에 차이가 있으므로 성장 변화에 차이를 나는 것으로 보인다.

## 2. 수종별 연간 직경생장량과 주요 환경조건과의 상관관계

임목의 생장에 가장 많은 영향을 미치는 기상인자 중 가장 중요한 것은 기온과 강수량으로 알려져 있다(Sander 1971; Woodward and Woodward 1987; Woodward 1991). 기온은 광합성을 포함한 다양한 임목의 생리적 작용에 영향을 미칠 뿐 아니라(Larsen, 1963), 고산지대에서의 형성층의 활동과 세포 생산을 함에 있어 중요한 역할을 한다(Deslauriers et al. 2008; Lenz et al. 2013; Moser et al. 2009; Rossi et al. 2011). 수분 조건 역시 기온과 마찬가지로 형성층 활동에 크게 작용할 뿐만 아니라 수분이 부족할 때는 생장을 둔화시킨다(Larsen 1963). 본 연구의 결과로는 태화산과 광릉의 수종들은 강수량의 영향을 가장 많이 받았다.

잣나무는 동아시아(한국, 중국 북부, 러시아 극동, 일본)에 있는 자생종이다. 분포 범위 중 북쪽은 보통의 고도에서 널리 분포하고 있으며, 분포 범위 중 남쪽 범위에서는 높은 고도에서 자란다. 또한, 현재 한반도에서는 잣나무 천연림은 거의 찾아볼 수 없다. 잣나무는 전년도 강수량과 연관성이 있다. 잣나무의 직경생장량은 일반적으로 기온과 수분 조건에 영향을 받는 것으로 알려져 있으며(Lyu et al. 2017), 그중에서도 온도에 더 많은 영향을 받는다. 중국의 Heihe와 Mudanjiang에서는 생장이 일어난 해의 6월과 7월의 기온과 음의 상관관계를 가졌으며, Dunhua와 한반도의 설악산에서는 2월, 3월, 4월의 기온과 양의 상관관계를 가졌다. Wuying에서는 생장이 일어난 전년도 10월과 상관관계를 보였다(Wang et al. 2017). 또한, 백두산의 낮은 고도에 분포하는 잣나무는 기온의 영향을 더 강하게 받았다(Yu et al. 2013). 본 연구에서도 잣나무는 기온과 강수량과 상관관계를 보였다. 하지만 선행연구에서도 알 수 있듯이, 수종

과 환경인자가 같다 하더라도 지역에 따라 미치는 영향이 다를 수 있다. 본 연구에서는 생장량이 일어난 전년도 여름의 기온과 음의 상관관계를 가지며, 전년도 전반의 강수량과 음의 상관관계를 가지는 등 앞의 선행연구와 차이를 보인다. 이러한 차이는 앞의 두 선행연구는 한반도보다 위도가 북쪽에 있어, 연평균기온 등에서 차이를 보이기 때문으로 추정할 수 있으며, 고도의 차이로 인해 온도가 제한 환경인자로 작용하는데 차이를 나타내는 것으로 생각해 볼 수 있다(Wang et al. 2017; Yu et al. 2013). 또한, 본 연구에서는 생장이 일어나는 전년도의 여름철 기온이 증가할수록 생장량이 감소하는 경향을 보였는데, 잣나무는 고정생장을 하는 수종으로 알려져 있으므로, 전년도 환경조건이 이듬해의 생장에 영향을 준 것으로 보인다. 또한, 잣나무는 고산 혹은 북방 수종이기 때문에, 다른 수종들보다 여름철 평균기온의 상승에 더 민감하게 반응한 것으로 보인다(Lyu et al. 2017; Yu et al. 2013)

또한, 본 연구에서는 나타나지 않았지만, 국외 연구에 따르면(Wang et al. 2017), 본격적으로 생장이 일어나는 5월 이전인 2월부터 4월까지의 기온 역시 직경생장량에 긍정적인 영향을 주었다. 이는 잣나무가 침엽상록수종으로 1년 내내 잎을 가지고 있으며, 겨울을 포함하여 언제라도 광합성을 할 가능성이 있다. 겨울철 온도가 온화할 때, 겨울에도 광합성을 하는 것으로 나타난 연구 결과도 있다.

전나무속 수종은 전 세계적으로 미국과 유럽의 북반구에 널리 분포하고 있다. 유전적 다양성 또한, 미국과 유럽의 북반구의 지역에 따라 다양하게 분화되어 있다(Fady and Conkle 1993; Palmer and Parker 1991; 김인식 and 한정오 1999). 우리나라에 자생하는 전나무속 수종은 전나무, 구상나무, 분비나무의 3가지 종류가 있다. 전나무는 한반도와 중국 동북부가 원산지로 현재는 러시아 동남부 블라디보스토크 북부 산지, 중국

허베이 북부, 헤이룽장 북부, 지린, 한반도 등 동북아시아에 자란다(공우석 2004). 따라서 연 직경생장량 혹은 연륜생장과 환경인자와의 상관분석 연구는 동북아시아보다는 상대적으로 널리 분포하고 있는 미국과 유럽 지역에서 더 활발하게 진행 중이다.

본 연구에서 전나무는 당년도 봄-여름의 강수량과 양의 상관관계를 가졌다. 이는 강수량이 전나무의 직경생장에 제한요소로 작용하기 때문으로 보인다(Carrer et al. 2010). 이는 같은 전나무속 수종인 *Abies alba*와는 다른 결과를 보였다. *Abies alba*는 생장이 일어난 전년도 9월에 온도가 증가하였을 때, 성장량이 감소하였다. 생장이 일어난 해의 2월의 기온과는 양의 상관관계를 가졌다(Maxime and Hendrik 2010).

*Abies alba*는 중부 유럽의 산지에 주로 분포하는 커다란 상록 침엽수림이며, 일부 남부 및 동부 유럽에도 서식한다. 이 수종은 중부 및 남동부 유럽 산림에서 상업적으로 중요한 나무 수종이기 때문에 환경인자와 환경인자에 따른 반응에 관한 연구가 활발하게 진행 중이다(Badeau 1995; Di Filippo et al. 2007; Dittmar et al. 2003; Lebourgeois et al. 2005; Manetti and Cutini 2006; Rolland et al. 2000).

전나무속 수종은 침엽상록수종으로 겨울에도 잎을 가지고 있다. 따라서, 겨울에도 광합성을 할 가능성이 있다. 본 연구에서는 나타나지 않았지만, 겨울철 온도가 온화할 때, 겨울에도 광합성을 하는 것으로 나타난 연구결과도 있다.

전 세계적으로 널리 분포되어있는 참나무속 수종은 생태계의 안정과 토양 및 수질의 보전에 중요한 의미가 있다(Fritts 1989). 선행연구에 의하면, 참나무속 수종은 환경조건 중 강수량이 제한요인으로 알려져 있다. 본 연구에서 굴참나무와 졸참나무는 지난해의 9월과 10월의 강수량이 많을수록 연간 직경생장량 증가하였다. 갈참나무 역시 유의한 차이를 보이

지는 않았으나, 굴참나무와 졸참나무와 유사한 구간(전년도 가을)에서 직경생장량과 강수량이 약한 양의 상관관계를 가졌다. 이는 굴참나무와 졸참나무에 비해, 필요한 수분의 양이 적다고 유추해 볼 수 있으며, 수종의 차이에 따라 주변 환경에 반응하는 것에 차이를 보인다는 것을 알 수 있다. 국외 선행연구의 결과 역시 참나무속 수종의 생장량과 강수량은 양의 상관관계를 가졌다. 흑해 서부 지역 (Akkemik et al. 2005), 영국 (Cooper et al. 2013; Wilson et al. 2013), 스웨덴 (Drobyshev et al. 2011), 독일의 중서부 및 남부 지역(Friedrichs et al. 2009a), 중부 유럽 (Büntgen et al. 2011)은 봄과 여름에서 양의 상관관계의 반응을 보였다. 프랑스의 Fontainebleau 숲에서는 참나무속 수종들은 생장이 일어난 전년도 8월과 9월, 당해의 6월과 7월의 평균기온과 음의 상관관계를 가진 반면, 전년도 8월과 10월, 겨울과 당해의 5월부터 7월까지의 강수량이 많을수록 생장량이 증가하였다(Michelot et al. 2012). 독일 중서부 지역의 *Q. robur*와 *Q. petraea*의 직경생장은 기온보다는 강수량에 더 많은 영향을 받았다. 특히, *Q. petraea*는 생장이 일어난 해의 6월 강수량이 많을수록 직경생장이 활발하게 일어났다(Friedrichs et al. 2009a). 또한, 알바니아 지역의 *Q. cerris*의 경우는 조사지별로 차이를 보였으나, 전반적으로 직경생장이 강수량의 영향을 많이 받았는데, 생장이 일어난 전년도의 7월과 9월, 그리고 당해의 6월의 강수량이 많을수록 생장이 활발히 일어났으며, 생장이 일어난 해의 7월의 평균기온과는 음의 상관관계를 가졌다. 이는 초여름의 고온이 증발산 및 토양수분의 증발을 촉진해 수분 손실을 증가시키고, 이로 인해 수목의 수분 스트레스가 증가하고 결과적으로 직경생장을 방해할 수 있다(Stafasani and Toromani 2015).

참나무속 수종들 역시 잣나무와 마찬가지로 고정생장을 하는 수종들이다. 강수량이 적으면 수분이 부족하게 되는데, 이로 인해 도관 내 공동

화의 발생하고, 광합성 효율 감소하게 된다. 그 결과 생성되는 탄수화물 감소하게 되어 이듬해 생장 감소하게 됩니다(Dittmar et al. 2003; Friedrichs et al. 2009a; Lebourgeois et al. 2005).

연간 평균 생장량의 변화가 비슷한 패턴을 보이는 수종은 직경 생장량의 제한요소도 비슷하였다. 2014년과 2015년에 직경 생장량이 증가하고, 이후 감소하는 변화를 보여준 갈참나무와 굴참나무, 졸참나무는 강수량이 제한요소로 작용하였으며, 조사 기간에 2018년을 제외한 연도에는 직경생장량에 큰 변화를 보이지 않고, 2018년, 생장량에 크게 나타난 전나무와 서어나무는 전년도 봄부터 초여름까지의 강수량이 제한요소로 작용하였다.

## V. 결론

이번 연구는 2013년부터 2018년까지 수종별로 흉고직경을 측정하여 수종에 따라 나타나는 연간 생장 변화를 알아보고, 환경조건에 따라 어떠한 환경인자가 영향을 주며, 지역에 따라 영향을 주는 시기에 차이가 있는지 알아보는 연구를 수행하였다. 태화산 연구지에서 생육했던 잣나무, 갈참나무, 굴참나무, 광릉국립수목원에서 자란 전나무, 졸참나무, 서어나무, 까치박달은 같은 조사지, 같은 환경조건이어도 수종별로 연간 생장 변화가 다르게 나타났다. 또한, 참나무속 수종인 갈참나무, 굴참나무, 졸참나무는 조사지가 달라도 연간 생장 변화는 비슷하게 나타났다. 또한, 수종별로 연 직경생장량에 영향을 미치는, 제한요소로 작용하는 환경인자가 차이가 남을 알 수 있으며, 같은 환경인자가 영향을 주더라도 그 시기에서 차이가 나는 것을 알 수 있었다. 또한, 참나무속 수종들과, 전나무 및 서어나무는 연간 직경생장패턴이 비슷하였는데, 이렇게 연간 직경생장 변화가 비슷한 수종끼리는 직경생장량의 제한요소 역시 유사함을 알 수 있다. 잣나무의 직경생장에 미치는 기후적 제한요소로는 평균기온과 강수량이며, 영향을 미치는 시기는, 평균기온의 경우 생장이 일어나기 전년도 5~6월이며 평균기온이 상승할수록 직경생장량이 감소한다. 강수량은 전년도의 전반에 영향을 미쳤으며, 강수량이 많을수록 역시 생장량이 감소하였다. 굴참나무의 직경생장에 미치는 환경인자는 강수량이며 영향을 미치는 시기는 생장이 일어난 전년도 9과 10월이며 강수량이 많을수록 생장량이 증가하였다. 전나무의 직경생장에 미치는 기후적 인자는 강수량이다. 영향을 미치는 시기는 당해 봄~초여름이며, 강수량이 증가할수록 생장량이 증가하였다. 또한, 유의한 차이를 보이지는 않았지만, 같은 시기 PAR 역시 영향을 주었다. 졸참나무는 굴참나무와 비슷하게,

제한인자가 강수량으로 나타났다. 영향을 미치는 시기는 굴참나무와 마찬가지로 9월이며, 강수량이 많을수록 직경생장이 더 많이 일어났다. 서어나무는 전나무와 유사하게 강수량이 직경생장에 영향을 주는 환경인자이며 당해의 5월-6월 강수량이 많을수록 생장량이 증가하였다. 까치박달은 전년도 여름-가을의 강수량과 양의 상관관계를 가진다. 또한, 전년도 늦여름-초가을의 대기 포차와 양의 상관관계를 가진다. 이러한 결과를 바탕으로 우리는 각 수종의 수종별 생장량의 변화 및 차이를 알 수 있으며, 이를 통하여 산림생태계의 구조 및 기능을 예측하고, 그 정보를 산림생태계 관리에 이용할 수 있다.



## 참고문헌

- Akkemik, Ü., Dağdeviren, N., & Aras, A. (2005). A preliminary reconstruction (AD 1635 - 2000) of spring precipitation using oak tree rings in the western Black Sea region of Turkey. *International Journal of Biometeorology*, 49, 297-302
- Büntgen, U., Tegel, W., Nicolussi, K., McCormick, M., Frank, D., Trouet, V., Kaplan, J.O., Herzig, F., Heussner, K.-U., & Wanner, H. (2011). 2500 years of European climate variability and human susceptibility. *Science*, 331, 578-582
- Carrer, M., Nola, P., Motta, R., & Urbinati, C. (2010). Contrasting tree ring growth to climate responses of *Abies alba* toward the southern limit of its distribution area. *Oikos*, 119, 1515-1525
- Choi, J., Yu, K., & Park, W. (1992). Paleoclimate reconstruction for Chungbu mountainous region using tree-ring chronology. *The Korean Journal of Quaternary Research*, 6, 21-32
- Cooper, R.J., Melvin, T.M., Tyers, I., Wilson, R.J., & Briffa, K.R. (2013). A tree-ring reconstruction of East Anglian (UK) hydroclimate variability over the last millennium. *Climate Dynamics*, 40, 1019-1039
- Deslauriers, A., Rossi, S., Anfodillo, T., & Saracino, A. (2008). Cambial phenology, wood formation and temperature thresholds in two contrasting years at high altitude in southern Italy. *Tree Physiology*, 28, 863-871

- Di Filippo, A., Biondi, F., Čufar, K., De Luis, M., Grabner, M., Maugeri, M., Presutti Saba, E., Schirone, B., & Piovesan, G. (2007). Bioclimatology of beech (*Fagus sylvatica* L.) in the Eastern Alps: spatial and altitudinal climatic signals identified through a tree ring network. *Journal of Biogeography*, *34*, 1873–1892
- Dittmar, C., Zech, W., & Elling, W. (2003). Growth variations of common beech (*Fagus sylvatica* L.) under different climatic and environmental conditions in Europe—a dendroecological study. *Forest Ecology and Management*, *173*, 63–78
- Drobyshev, I., Niklasson, M., Linderholm, H.W., Seftigen, K., Hickler, T., & Eggertsson, O. (2011). Reconstruction of a regional drought index in southern Sweden since AD 1750. *The Holocene*, *21*, 667–679
- Fady, B., & Conkle, M. (1993). Allozyme variation and possible phylogenetic implications in *Abies cephalonica* Loudon and some related eastern Mediterranean firs. *Silvae Genetica* *42* (6): p. 351–359
- Friedrichs, D.A., Buntgen, U., Frank, D.C., Esper, J., Neuwirth, B., & Löffler, J. (2009a). Complex climate controls on 20th century oak growth in Central-West Germany. *Tree Physiol*, *29*, 39–51
- Friedrichs, D.A., Trouet, V., Buntgen, U., Frank, D.C., Esper, J., Neuwirth, B., & Löffler, J. (2009b). Species-specific climate sensitivity of tree growth in Central-West Germany. *Trees*, *23*, 729–739

- Fritts, H. (2012). *Tree rings and climate*. Elsevier
- Garcia-Cervigon, A.I., Olano, J.M., Eugenio, M., & Camarero, J.J. (2012). Arboreal and prostrate conifers coexisting in Mediterranean high mountains differ in their climatic responses. *Dendrochronologia*, 30, 279–286
- Griesbauer, H.P., & Green, D.S. (2012). Geographic and temporal patterns in white spruce climate - growth relationships in Yukon, Canada. *Forest Ecology and Management*, 267, 215–227
- Griggs, C., DeGaetano, A., Kuniholm, P., & Newton, M. (2007). A regional high frequency reconstruction of May - June precipitation in the north Aegean from oak tree rings, AD 1089 - 1989. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 27, 1075–1089
- Hannah, L. (2011). Climate change, connectivity, and conservation success. *Conservation Biology*, 25, 1139–1142
- Kozlowski, T.T., & Pallardy, S.G. (1997). *Growth control in woody plants*. Elsevier
- Kramer, P. (2012). *Physiology of woody plants*. Elsevier
- Larsen, J.A. (1963). Elimination of Ethanol as a Measure of the Hepatic Blood Flow in the Cat: II. The significance of the extrahepatic elimination of ethanol. *Acta Physiologica Scandinavica*, 57, 209–223
- Latreille, A., Davi, H., Huard, F., & Pichot, C. (2017). Variability of the climate–radial growth relationship among *Abies alba* trees and populations along altitudinal gradients. *Forest Ecology and*

*Management*, 396, 150–159

- Lebourgeois, F. (2007). Climatic signal in annual growth variation of silver fir (*Abies alba* Mill.) and spruce (*Picea abies* Karst.) from the French Permanent Plot Network (RENECOFOR). *Annals of Forest Science*, 64, 333–343
- Lebourgeois, F., Breda, N., Ulrich, E., & Granier, A. (2005). Climate–tree–growth relationships of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in the French Permanent Plot Network (RENECOFOR). *Trees–Structure and Function*, 19, 385–401
- Lenz, A., Hoch, G., & Körner, C. (2013). Early season temperature controls cambial activity and total tree ring width at the alpine treeline. *Plant ecology & diversity*, 6, 365–375
- Lyu, S.N., Wang, X.C., Zhang, Y.D., & Li, Z.S. (2017). Different responses of Korean pine (*Pinus koraiensis*) and Mongolia oak (*Quercus mongolica*) growth to recent climate warming in northeast China. *Dendrochronologia*, 45, 113–122
- Manetti, M.C., & Cutini, A. (2006). Tree-ring growth of silver fir (*Abies alba* Mill.) in two stands under different silvicultural systems in central Italy. *Dendrochronologia*, 23, 145–150
- Maxime, C., & Hendrik, D. (2010). Effects of climate on diameter growth of co-occurring *Fagus sylvatica* and *Abies alba* along an altitudinal gradient. *Trees*, 25, 265–276
- Michelot, A., Simard, S., Rathgeber, C., Dufrene, E., & Damesin, C. (2012). Comparing the intra-annual wood formation of three European species (*Fagus sylvatica*, *Quercus petraea* and *Pinus*

- sylvestris*) as related to leaf phenology and non-structural carbohydrate dynamics. *Tree Physiology*, *32*, 1033–1045
- Millar, C.I., Stephenson, N.L., & Stephens, S.L. (2007). Climate change and forests of the future: managing in the face of uncertainty. *Ecological Applications*, *17*, 2145–2151
- Moser, L., Fonti, P., Büntgen, U., Esper, J., Luterbacher, J., Franzen, J., & Frank, D. (2009). Timing and duration of European larch growing season along altitudinal gradients in the Swiss Alps. *Tree Physiology*, *30*, 225–233
- Palmer, C.L., & Parker, W.H. (1991). Phenotypic variation in Yukon populations of subalpine fir. *Canadian journal of botany*, *69*, 1491–1500
- Park, J., Kim, T., Moon, M., Cho, S., Ryu, D., & Kim, H.S. (2018). Effects of thinning intensities on tree water use, growth, and resultant water use efficiency of 50-year-old *Pinus koraiensis* forest over four years. *Forest Ecology and Management*, *408*, 121–128
- Rolland, C., Desplanque, C., Michalet, R., & Schweingruber, F.H. (2000). Extreme tree rings in spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) and fir (*Abies alba* Mill.) stands in relation to climate, site, and space in the southern French and Italian Alps. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, *32*, 1–13
- Rossi, S., Morin, H., Deslauriers, A., & Plourde, P.y. (2011). Predicting xylem phenology in black spruce under climate warming. *Global Change Biology*, *17*, 614–625

- Rozas, V. (2001). Detecting the impact of climate and disturbances on tree-rings of *Fagus sylvatica* L. and *Quercus robur* L. in a lowland forest in Cantabria, Northern Spain. *Annals of Forest Science*, 58, 237-251
- Sander, D. (1971). Soil properties and Siberian elm tree growth in Nebraska windbreaks. *Soil Science*, 112, 357-363
- Schweingruber, F.H. (1996). *Tree rings and environment: dendroecology*. Berne: Paul Haupt AG Bern
- Speer, J.H. (2010). *Fundamentals of tree-ring research*. University of Arizona Press
- Stafasani, M., & Toromani, E. (2015). Growth-Climate Response of Young Turkey Oak (*Quercus cerris* L.) Coppice Forest Stands along Longitudinal Gradient in Albania. *South-east European forestry*, 6
- Wang, H., Shao, X.M., Jiang, Y., Fang, X.Q., & Wu, S.H. (2013). The impacts of climate change on the radial growth of *Pinus koraiensis* along elevations of Changbai Mountain in northeastern China. *Forest Ecology and Management*, 289, 333-340
- Wang, X.C., Zhang, M.H., Ji, Y., Li, Z.S., Li, M., & Zhang, Y.D. (2017). Temperature signals in tree-ring width and divergent growth of Korean pine response to recent climate warming in northeast Asia. *Trees-Structure and Function*, 31, 415-427
- Weber, P., Bugmann, H., & Rigling, A. (2007). Radial growth responses to drought of *Pinus sylvestris* and *Quercus*

*pubescens* in an inner-Alpine dry valley. *Journal of Vegetation Science*, 18

Wilson, R., Miles, D., Loader, N.J., Melvin, T., Cunningham, L., Cooper, R., & Briffa, K. (2013). A millennial long March - July precipitation reconstruction for southern-central England. *Climate Dynamics*, 40, 997-1017

Woodward, F.I., & Woodward, F. (1987). *Climate and plant distribution*. Cambridge University Press

Woodward, K.M. (1991). *Aging and its discontents: Freud and other fictions*. Indiana University Press

Yu, D.P., Liu, J.Q., Lewis, B.J., Li, Z., Zhou, W.M., Fang, X.M., Wei, Y.W., Jiang, S.W., & Dai, L.M. (2013). Spatial variation and temporal instability in the climate-growth relationship of Korean pine in the Changbai Mountain region of Northeast China. *Forest Ecology and Management*, 300, 96-105

Zobel, B.J., & Van Buijtenen, J.P. (2012). *Wood variation: its causes and control*. Springer Science & Business Media

공우석 (2004). 한반도에 자생하는 침엽수의 종 구성과 분포. *대한지리학회지*, 39, 528-543

권보람, 전지현, 김현석, & 이명종 (2016). 광릉숲, 태화산, 가리왕산 활엽수림에서 낙엽에 의한 수종별 엽면적지수 추정. *한국농림기상학회지*, 18, 1-15

권혁수, 류지은, 서창완, 김지연, 도재화, 서민환, & 박종화 (2012). 국지적으로 분포하는 식물에 대한 기후 및 환경변수 영향. *J. Korean Env. Res. Tech*, 15, 17-27

- 김인식, & 현정오 (1999). RAPD 분석에 의한 전나무 천연집단의 유전변이. *한국산림과학회지 (구 한국임학회지)*, 88, 408-418
- 문나현, 성주한, 임종환, 박고은, & 신만용 (2015). 연륜기후학적 방법에 의한 상수리나무의 연륜생장과 기후인자와의 관계분석. *한국농림기상학회지*, 17, 93-101
- 박원규 (1993). 대기중 이산화탄소 증가와 한국산 아고산 침엽수류의 생장동향-연륜년대학적 (年輪年代學的) 분석. *한국산림과학회지 (구 한국임학회지)*, 82, 17-25
- 이경준 (1993). 수목생리학. *서울대학교 출판부*, 173-194
- 이상태 (2003). 주요 기후인자와 소나무의 직경생장에 관한 연륜생태학적 연구. *경상대학교대학원*
- 임종환, 박고은, 문나현, 문가현, & 신만용 (2017). 국가산림자원조사 자료를 활용한 소나무 연륜생장과 기후인자와의 관계분석. *한국산림과학회지 (구 한국임학회지)*, 106, 249-257
- 임종환, 천정화, 박고은, & 신만용 (2016). 기후변화가 잣나무의 연륜생장에 미치는 영향 분석. *한국산림과학회지 (구 한국임학회지)*, 105, 351-359



## Abstract

Climate change is one of the most concerning environmental issues during the last years, while the intensity and frequency of extreme weather events are increasing in such a way that are changing the forest ecosystem. A better understanding of the differences in species response to changes in the forest ecological conditions can be used to assess the impact of future climate change on forest growth. Consequently, is important to investigate the correlation between environmental conditions and the tree diameter growth, as well as to study the difference in forest productivity according to the environmental conditions for each species. *Pinus koraiensis*, *Quercus aliena*, *Q. variabilis*, *Q. serrata*, *Abies holophylla*, *Carpinus laxiflora*, and *C. cordata* were studied in Taehwa Mountain and National Arboretum. The survey period extended from the years 2013 to 2018. Compared with the initial year of the survey, in 2013, during the last year 2018, the species of pine, fir and cedar trees increased by 19.1%, 25.0% and 39%, respectively. However, the oak species present a growth of 19.0%, 18.1%, and 20%, correspondingly, indicating that the difference in the diameter growth response varies depending on the specie even if they are affected by the same environment. The annual diameter growth and the major environmental conditions were analyzed by intervals. The results showed that the pine trees correlate with the average temperature in the summer of the last year and the precipitation in the previous

year. Additionally, *Abies* and *C. laxiflora* show a correlation with the precipitation in the spring and summer of each year. It can be observed that the several environmental factors are different for each species, and the correlated sections varies.

**Keywords:** Temperate forest, Diameter growth, Climate change, Climate-growth relationship, Environmental factor

**School Number:** 2017-29845